



Contribuții la implementarea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații

Ing. Emanuel D. PUȘCHIȚĂ

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC
Prof. Dr. Ing. Tudor P. PALADE

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
Catedra de Comunicații
Iunie 2009

Cuprinsul lucrării

INTRODUCERE	1
1.1 STRUCTURA CAPITOLULUI.....	1
1.2 CALITATEA SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII	1
1.3 SCOPUL TEZEI	2
1.4 ORGANIZAREA TEZEI.....	3
 CAPITOLUL 2. CALITATEA SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII.....	5
2.1 STRUCTURA CAPITOLULUI.....	5
2.2 DEFINIREA NOȚIUNII DE “CALITATE A SERVICIILOR”	6
2.3 DEFINIREA CONCEPTULUI QoS	6
2.4 PARAMETRII QoS AI REȚELEI	7
2.4.1 Capacitatea de transfer (rata de transfer, lățimea de bandă)	7
2.4.2 Întârzierile	8
2.4.3 Variația întârzierilor (jitter-ul).....	8
2.4.4 Rata erorilor.....	9
2.5 CERINȚELE QoS ALE APLICAȚIILOR	9
2.6 SERVICII ȘI MECANISME QoS	10
2.6.1 Servicii QoS.....	10
2.6.2 Mecanisme QoS.....	11
2.7 MECANISME DE CLASIFICARE QoS.....	12
2.7.1 Clasificarea la nivel de strat legături de date	12
2.7.2 Clasificarea la nivel de strat rețea	13
2.7.2.1 IntServ (Integrated Services, servicii integrate)	13
2.7.2.2 DiffServ (Differentiated Services, servicii diferențiate).....	14
2.7.3 Clasificarea la nivel de strat transport.....	14
2.7.4 Clasificarea la nivel de strat aplicație (utilizator)	15
2.7.4.1 SIP (Session Initiation Protocol)	15
2.8 CONCLUZII	15
 CAPITOLUL 3. SPECIFICUL QoS INTRA-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES RADIO.....	17
3.1 STRUCTURA CAPITOLULUI.....	17
3.2 CLASIFICAREA SISTEMELOR CU ACCES RADIO	18
3.3 QoS ÎN REȚELELE WIRELESS EXTINSE ÎN STANDARD DVB-RCS	19
3.3.1 Sisteme satelitare de video-difuziune având canal descendent (DVB-RCS).....	19
3.3.2 Arhitectura sistemelor satelitare	20
3.3.3 Canalul de transmisie/canalul de broadcast (Forward Channel/Broadcast Channel)	21
3.3.4 Împachetarea datelor în format MPEG-2 TS conform standardului DVB	22
3.3.5 Canalul de întoarcere (Return Channel).....	22
3.3.6 Accesul pe canalul de întoarcere.....	23
3.3.7 Suportul QoS în rețele satelitare	25
3.3.7.1 Clasificarea.....	25
3.3.7.2 Semnalizarea solicitărilor de alocare a resurselor și accesul la canal	25
3.4 QoS ÎN REȚELELE WIRELESS METROPOLITATE ÎN STANDARD IEEE 802.16	26
3.4.1 Arhitectura standardului IEEE 802.16.....	26
3.4.2 Stratul fizic.....	26
3.4.2.1 Profilul adaptiv al salvelor de date	27
3.4.3 Stratul de control al accesului la mediu (MAC, Media Access Control).....	28

3.4.3.1	Controlul accesului la mediu	29
3.4.3.2	Accesul la canal	29
3.4.4	<i>Spportul QoS în rețele IEEE 802.16</i>	31
3.4.4.1	Mecanismele de solicitare și de alocare a resurselor	31
3.4.4.2	Mecanismul de solicitare a resurselor	31
3.4.4.3	Mecanismul de alocare a resurselor	32
3.4.4.4	Ordonarea serviciilor de trafic	32
3.4.4.5	Accesul în rețea și procesul de inițializare	34
3.4.4.6	Suportul QoS	34
3.4.4.7	Asigurarea suportului QoS	35
3.4.4.8	Mecanismul QoS	36
3.4.4.9	Clasificarea pachetelor	36
3.5	QoS în REȚELELE WIRELESS LOCALE ÎN STANDARD IEEE 802.11	37
3.5.1	<i>Supportul QoS în rețele IEEE 802.11</i>	38
3.5.2	<i>QoS în rețele wireless locale</i>	38
3.5.2.1	QoS în standard IEEE 802.11: modul DCF	38
3.5.2.2	QoS în standard IEEE 802.11: modul PCF	39
3.5.2.3	QoS în IEEE 802.11e: modul EDCF	40
3.5.2.4	QoS în IEEE 802.11e: modul HCF	40
3.5.2.5	Abordarea comparativă a modurilor de asigurare a suportului QoS	42
3.6	CONCLUZII	42

CAPITOLUL 4. EVALUAREA UNOR MODELE DE IMPLEMENTARE A SUPORTULUI QoS INTRA-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES RADIO.....43

4.1	STRUCTURA CAPITOLULUI	43
4.2	EVALUAREA PERFORMANȚEI TEHNICILOR DE ACCES LA MEDIUL DE TRANSMISIE RADIO	44
4.2.1	<i>Caracteristicile protocoalelor de acces la mediul de transmisie radio</i>	44
4.2.2	<i>Clasificarea protocoalelor de acces multiplu</i>	46
4.2.3	<i>Protocoale cu disputarea accesului</i>	46
4.2.3.1	p-ALOHA (pure-ALOHA)	47
4.2.3.2	s-ALOHA (slotted-ALOHA)	48
4.2.3.3	CSMA (Carrier Sense Multiple Access, acces multiplu cu detectarea purtătoarei)	48
4.2.3.4	ISMA (Inhibit Sense Multiple Access, acces multiplu fără detectare)	50
4.2.4	<i>Protocoale fără disputarea accesului</i>	51
4.2.4.1	Protocoale cu asignare fixă	51
4.2.4.2	Protocoale cu asignare la cerere	53
4.2.5	<i>Mecanisme de acces în sisteme wireless locale în standard IEEE 802.11</i>	56
4.2.5.1	Funcția de coordonare distribuită	57
4.2.5.2	Funcția de coordonare centralizată	59
4.2.5.3	Spații inter-cadru în standardul IEEE 802.11	60
4.2.6	<i>Mecanisme de acces cu suport QoS în sisteme wireless locale în standard IEEE 802.11</i>	62
4.2.6.1	Funcția de coordonare distribuită îmbunătățită (EDCF, Enhanced DCF) și funcția de coordonare hibridă (HCF, Hybrid Coordination Function)	63
4.2.6.2	Funcția de coordonare distribuită îmbunătățită (EDCF, Enhanced DCF)	65
	Funcția de coordonare hibridă (HCF, Hybrid Coordination Function)	66
4.2.7	<i>Evaluarea performanței funcției de coordonare distribuită îmbunătățită EDCF, prin comparație cu funcția de coordonare distribuită DCF</i>	67
4.2.7.1	Setările parametrilor globali de configurare a scenariilor	68
4.2.7.2	Setările parametrilor specifici de configurare a scenariilor	68
4.2.7.3	Evaluarea performanței suportului QoS de tip EDCF în scenariile analizate	69
4.2.8	<i>Mecanismul de acces la canal în mod distribuit îmbunătățit (EDCA, Enhanced Distributed Channel Access) și mecanismul de acces la canal controlat printr-un coordonator hibrid (HCCA, HCF Controlled Channel Access)</i>	74
4.2.8.1	Mecanismul EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)	75
4.2.8.2	Mecanismul HCCA (HCF Controlled Channel Access)	77
4.2.9	<i>Evaluarea performanței mecanismului îmbunătățit de acces la canal în mod distribuit EDCA prin comparație cu funcția de coordonare distribuită DCF</i>	77
4.2.9.1	Setările parametrilor globali de configurare a scenariilor	78
4.2.9.2	Setările parametrilor specifici de configurare a scenariilor	78
4.2.9.3	Evaluarea performanței suportului QoS de tip EDCA în scenariile analizate	80
4.3	EVALUAREA PERFORMANȚEI PROTOCOALELOR DE RUTARE ÎN MEDII CU TRANSMISIE RADIO	86
4.3.1	<i>Caracteristici generale ale rutării</i>	86
4.3.2	<i>Rutarea în medii cu transmisie radio</i>	86
4.3.3	<i>Protocoale proactive și protocoale reactive</i>	89
4.3.3.1	Protocoale de rutare proactive	90
4.3.3.2	Protocoale de rutare reactive	91
4.3.4	<i>Evaluarea performanței protocoalelor de rutare în medii cu transmisie radio</i>	93

4.3.5	Concluzii.....	95
4.4	EVALUAREA PERFORMANȚEI PROTOCOALELOR DE TRANSPORT ÎN MEDII CU TRANSMISIE RADIO	97
4.4.1	Caracteristici generale ale segmentării pe strat transport.....	97
4.4.2	Evaluarea performanței protocoalelor de transport în medii cu transmisie radio.....	97
4.4.3	Concluzii.....	98
4.5	EVALUAREA PERFORMANȚEI PROTOCOLULUI SIP	99
4.5.1	Scurt istoric al evoluției protocolului SIP	99
4.5.2	SIP și protocoalele Internet (IP).....	99
4.5.3	SIP și rețelele cu transmisie radio.....	100
4.5.4	Arhitectura SIP	100
4.5.5	Mesaje SIP.....	102
4.5.5.1	Cereri SIP.....	103
4.5.5.2	Răspunsuri SIP.....	103
4.5.6	Protocoalele RTP și RTCP în conjuncție cu protocolul SIP.....	104
4.5.7	Evaluarea performanței protocolului SIP	105
4.5.7.1	Arhitectura scenariului de evaluare.....	106
4.5.8	Facilități QoS pentru SIP folosind COPS.....	109
4.5.8.1	COPS	110
4.5.8.2	Q-SIP, QoS pentru SIP folosind COPS	111
4.5.9	Concluzii.....	114

CAPITOLUL 5. SPECIFICUL QOS INTER-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES HIBRID..... 115

5.1	STRUCTURA CAPITOLULUI.....	115
5.2	PROBLEMATICA QOS INTER-DOMENIU ÎN ABORDAREA UNOR ORGANISME DE STANDARDIZARE	116
5.2.1	Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea 3GPP.....	116
5.2.2	Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea ETSI.....	118
5.2.3	Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea ITU-T.....	120
5.2.4	Implementări QoS inter-domeniu într-o arhitectura NGN ITU-T.....	121
5.2.5	Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea IETF	123
5.3	PROBLEMATICA QOS INTER-DOMENIU ÎN ABORDAREA UNOR PROIECTE DE CERCETARE	126
5.4	PROBLEMATICA MANAGEMENTULUI QOS INTER-DOMENIU ÎN ABORDAREA UNOR PUBLICAȚII ȘI MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE	129
5.5	PROBLEMATICA QOS INTER-DOMENIU ÎN ABORDAREA UNOR COMUNITĂȚI ȘTIINȚIFICE	131
5.6	CONCLUZII	132

CAPITOLUL 6. EVALUAREA MODELELOR DE IMPLEMENTARE A SUPORTULUI QOS INTER-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES HIBRID 135

6.1	STRUCTURA CAPITOLULUI.....	135
6.2	MODEL QoS INTER-DOMENIU UTILIZÂND AGENȚI MOBILI.....	137
6.2.1	Analiza potențialului rețelei și a cerințelor utilizator folosind agenți mobili.....	138
6.2.2	Evaluarea performanței agenților mobili într-o arhitectură de tip WLAN-satelitară	140
6.2.3	Evaluarea performanței agenților mobili într-o arhitectură de tip WLAN – UMTS	141
6.3	DESCRIEREA ȘI SPECIFICUL MODELULUI I-NAME.....	146
6.3.1	Scopul proiectării modelului I-NAME.....	146
6.3.2	Considerente introductive.....	146
6.3.3	Premisele modelului I-NAME.....	147
6.3.4	Analiza numerică a modelului I-NAME.....	148
6.3.5	Profilele modelului I-NAME.....	150
6.3.6	Fluxul mesajelor în cadrul modelului I-NAME	151
6.4	IMPLEMENTAREA ȘI INTEGRAREA MODELULUI I-NAME.....	153
6.4.1	Descrierea implementării profilelor asociate modelului I-NAME	153
6.4.2	Specificul implementării modelului I-NAME din perspectiva simulatorului de rețele QualNet	160
6.4.3	Motivația lucrului cu simulatorul de rețele QualNet.....	164
6.4.4	Modul de lucru cu fișierele simulatorului de rețele QualNet	165
6.4.5	Fișierele asociate unui scenariu.....	165
6.4.6	Integrarea modului I-NAME în simulatorul de rețele QualNet Developer 4.5	166
6.4.7	Descrierea aplicației patch ce implementează modelul I-NAME.....	167
6.5	CONFIGURAREA PARAMETRICĂ A SCENARIILOR DE SIMULARE	172
6.5.1	Descrierea scenariilor de simulare pentru testarea și evaluarea modelului I-NAME	172
6.5.2	Setările parametrilor globali de configurare ai rețelei	173
6.5.3	Setările parametrilor specifici de configurare ai rețelei	174

6.5.4.	Setările parametrilor de configurare a legăturilor și traficului rulat în rețea	177
6.5.5.	Parametrii de configurare globali ai aplicației de test.....	179
6.5.6.	Parametrii de configurare specifici aplicației de test descriși prin modelul I-NAME.....	180
6.5.7.	Rularea aplicației de test într-un scenariu inter-domeniu cu acces hibrid.....	181
6.6	EVALUAREA ȘI VALIDAREA PERFORMANTELOR MODELULUI I-NAME.....	183
6.7	I-NAME ȘI CONCEPTE NGN	201
6.7.1.	I-NAME și conceptul In-Network Management (INM).....	201
6.7.2.	I-NAME și conceptul Virtual Network (VNet)	202
6.8	CONCLUZII	204
6.8.1.	Concluzii generale.....	204
6.8.2.	Concluzii particulare	205

CAPITOLUL 7. CONTRIBUȚII LA IMPLEMENTAREA CALITĂȚII SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII 207

7.1	STRUCTURA CAPITOLULUI.....	207
7.2	CONTRIBUȚIILE LA IMPLEMENTAREA CALITĂȚII SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII.....	207
7.3	PREMII OBTINUTE	210
7.4	FLUXUL PRINCIPAL AL PUBLICAȚIILOR AUTORULUI CITATE ÎN TEZĂ	211
7.5	RAPOARTELE DE CERCETARE PREDATE ÎN CADRUL UNOR CONTRACTE (EDITOR/CO-AUTOR).....	214
7.6	REFERATELE DE DOCTORAT	214
7.7	PARTICIPARE ÎN CONTRACTE DE CERCETARE	214
7.8	LUCRĂRI INDEXATE ÎN BAZE DE DATE	215
7.9	LUCRĂRI APĂRUTE ÎN REVISTE JURNAL	215

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE INDICATE ÎN LUCRARE 217

ANEXE 225

Capitolul 1

Introducere

1.1 Structura capitolului

Rolul acestui capitol este de a oferi o perspectivă sintetică asupra tezei *Contribuții privind implementarea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații*.

Astfel, paragraful 1.1 sintetizează abordările QoS în rețelele de telecomunicații, paragraful 1.2 descrie scopul tezei, iar paragraful 1.3 prezintă modul de organizare al tezei.

1.2 Calitatea serviciilor în rețelele de telecomunicații

Asigurarea unui suport QoS cap-la-cap într-un singur domeniu administrativ necesită adoptarea uneia din soluțiile QoS tehnologice actuale. Acest aspect devine însă o provocare dificilă într-un sistem multi-domeniu compus din categorii de rețele cu acces heterogen.

Cum mecanismele QoS existente și combinațiile acestora nu pot oferi un suport QoS inter-domeniu fiabil, preocuparea majoră a comunității științifice constă în identificarea unei soluții QoS între domenii administrative multiple și totodată în implementarea unei noi paradigme de management intrinsec al rețelei (*in-network management*), în care funcțiile de management sunt componente integrante entităților din sistem.

Conform abordării tezei, aspectul global al problematicii QoS în rețelele de telecomunicații poate fi grupat în jurul a două concepte majore:

- (1) conceptul QoS vertical și
- (2) conceptul QoS orizontal.

Conceptul QoS vertical consideră faptul că soluțiile tehnologice QoS au o arhitectură stratificată, fiecare strat având un rol specific în determinarea suportului QoS cap-la-cap.

Astfel, nivelul QoS atins este determinat de capacitatea mecanismului intra-domeniu de a prelua parametrii QoS de la straturile superioare și de a-i transfera către straturile inferioare ale arhitecturii rețelei. În această abordare, conceptul QoS vertical integrează soluțiile QoS intra-domeniu.

Conceptul QoS orizontal exprimă necesitatea transferării cerințelor QoS între domenii administrative ce implementează soluții tehnologice particulare și protocoale proprietare.

În acest sens, semnalizările QoS cap-la-cap inter-domeniu și politicile de management al resurselor bazate pe arhitecturi de tip client/server integrate la nivelul nodurilor rețelei pot constitui soluții fiabile de rezolvare a problemei. În această abordare, conceptul QoS orizontal este perceput în sensul de model suport QoS inter-domeniu.

1.3 Scopul tezei

Pornind de la abordările globale ale problematicii QoS în rețelele de telecomunicații, scopul tezei poate fi identificat prin modul în care lucrarea:

- (1) prezintă mecanismele de asigurare a suportului QoS intra-domeniu în rețele cu acces radio;
- (2) analizează și evaluează performanțele mecanismelor QoS, ale tehnologiilor cu acces radio prezentate din perspectiva conceptului QoS vertical;
- (3) identifică tendințele și necesitatea unui management QoS autonom în sistemele cu acces hibrid;
- (4) propune modele de suport QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid conform perspectivei QoS orizontal;
- (5) evaluează și validează modelul I-NAME (*In-Network Autonomic Management Environment*) mecanism de management QoS inter-domeniu.

Cum asigurarea suportului QoS cap-la-cap în arhitecturi cu acces hibrid reprezintă una din provocările actuale majore ale cercetărilor în domeniu, scopul tezei este acela de a propune, evalua și valida un mecanism suport QoS inter-domeniu.

În acest context, a fost propus modelul I-NAME, un mediu reactiv ce realizează în mod automat controlul și managementul QoS al resurselor între diferitele domenii ale arhitecturii de rețea cu acces hibrid.

În implementările actuale, managementul QoS resurselor este un element exterior rețelei având la bază utilizarea și interacțiunea prin intermediul unui protocol al entității centrale cu elementele periferice.

Modelul propune o așa numită soluție de management integrat al rețelei, soluție ce contrastează cu modelul tradițional centralizat de management al resurselor rețelei.

Sarcinile modelului cu management integrat al resurselor sunt distribuite în rețea, nefiind rezidente doar într-o entitate centrală. Din acest punct de vedere rețeaua este mult mai inteligentă, încapsulând (sau integrând) cunoștințe despre capabilitățile caracteristice în nodurile rețelei.

În felul acesta, o anumită activitate de management este translatată (sau proiectată) în afara substratului fizic al rețelei într-un așa numit plan de management cu auto-organizare localizat în interiorul sistemului administrat.

Scopul proiectării modelului propus este acela de a dezvolta o soluție de management integrat al resurselor, care să atribuie nodurilor rețelei capacitatea de a detecta în mod automat modificările dinamice ale stării rețelei și de a determina aplicația să reacționeze corespunzător contextului rețelei.

Altfel spus, modelul de management QoS al resurselor este definit la interacțiunea dintre nodurile rețelei și aplicațiile rulate de utilizator, asigurând acces personalizat din punctul de vedere al utilizatorului/aplicației și servicii optimizate din perspectiva rețelei/operatorului.

Astfel, modelul propus I-NAME îndeplinește obiectivul principal al tezei, acela de a introduce o anumită predicție în interiorul rețelei prin monitorizarea și colectarea de informații despre resursele solicitate în conjuncție cu disponibilitatea rețelei, în vederea asigurării unui traseu QoS cap-la-cap inter-domeniu.

1.4 Organizarea tezei

Lucrarea *Contribuții la implementarea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații* este organizată în șapte capitole, primul capitol făcând o introducere a elementelor abordate în teză. În continuare, lucrarea este structurată în felul următor:

Capitolul 2, intitulat *Calitatea serviciilor în rețelele de telecomunicații*, definește noțiunea de calitate a serviciilor și conceptul QoS în rețelele de telecomunicații, prezintă setul de parametri necesari unei evaluări QoS obiective într-o rețea de telecomunicații cu suport QoS, nuanțează calitativ și cantitativ cerințele aplicației și clasifică serviciile și mecanismele QoS la nivelul arhitecturii rețelei. Mai sunt prezentate conceptele QoS vertical și QoS orizontal în conjuncție cu suportul QoS intra-domeniu, respectiv inter-domeniu.

Capitolul 3, denumit *Specificul QoS intra-domeniu în sisteme cu acces radio*, introduce aspectele vizate de mecanismele QoS intra-domeniu și prezintă clasificarea sistemelor cu acces radio, grupând diferitele categorii de rețele wireless în funcție de raza de transmisie a acestora. Din categoria rețelelor wireless extinse este prezentat specificul mecanismului QoS al sistemelor satelitare în standard DVB-RCS. Reprezentantul rețelelor wireless metropolitane a fost ales standardul IEEE 802.16. Profilul adaptiv al salvelor de acces la mediul de transmisie, controlul centralizat și diferențierea traficului în clase de servicii reprezintă elementele mecanismului QoS în standard IEEE 802.16 prezentate în acest capitol. Succesul rețelelor wireless locale și necesitatea de a rula servicii multimedia în sisteme ce implementează standardul IEEE 802.11 este regăsit în extinderea specificațiilor inițiale cu descrierea unor mecanisme QoS. Capitolul prezintă funcțiile cu suport QoS atât pentru modul având coordonare distribuită cât și pentru modul având control centralizat în standard IEEE 802.11.

Capitolul 4, *Evaluarea unor modele de implementare a suportului QoS intra-domeniu în sisteme cu acces radio*, face o prezentare și o analiză parametrică a mecanismelor QoS conform conceptului QoS vertical. Cum fiecare strat își aduce contribuția la calitatea serviciului oferit, evaluarea unor modele de implementare a suportului QoS intra-sistem presupune extragerea parametrilor QoS specifici la nivelul fiecărui strat al rețelei. Performanța tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio urmărește evaluarea contribuției stratului legături de date la asigurarea suportului QoS global prin analiza unor parametri ca: întârziere de transmisie cap-la-cap, jitter, debitul aplicației la nodul destinație și eficiența transmisiei. Evaluarea performanței protocoalelor de rutare în mediile cu transmisie radio, prin analiza parametrică a numărului de pachete de rutare transmise și determinarea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap funcție de protocolul selectat, pune în evidență încărcarea introdusă la nivel de strat rețea de protocoalele de rutare. Evaluarea performanței protocoalelor de transport în mediile cu transmisie radio ilustrează dependența parametrică a tipului aplicației de protocoalele de pe strat transport. Evaluarea performanței protocolului SIP prezintă o modalitate de asigurare a suportului QoS la nivel de strat aplicație.

Capitolul 5, numit *Specificul QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid*, realizează o sinteză asupra activității unor organisme de standardizare, a rapoartelor unor proiecte de cercetare și a studiilor ce au vizat activitatea unor centre de cercetare în sfera suportului QoS inter-domeniu. Este prezentată problematica QoS inter-domeniu în abordarea unor organisme de standardizare perspectiva 3GPP, ITU-T, ETSI și IETF. Perspectivele IST prin proiectele EuQoS, AQUILA, ENTHRONE, MESCAL, CADENUS, TEQUILA, EMANICS, respectiv NSF prin proiectul GENI/FIND expun problematica QoS inter-domeniu în abordarea unor proiecte de cercetare. În abordarea unor comunități științifice, problematica QoS inter-domeniu prezintă soluții QoS inter-domeniu particulare, în special arhitecturi distribuite de tip client/server. Capitolul reprezintă un preambul al modelelor QoS inter-

domeniu propuse prin această lucrare (modelul QoS inter-domeniu utilizând agenți mobili, respectiv modelul I-NAME), o trecere în revistă a stadiului actual al cunoașterii în domeniu raportat la cele mai recente referințe.

Capitolul 6 prezintă *Evaluarea modelelor de implementare a suportului QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid* propuse în această lucrare, și anume: modelul QoS inter-domeniu utilizând agenți mobili și modelul I-NAME. Cunoașterea parametrilor ce caracterizează entitățile rețelei reprezintă componenta de bază a unui model cu suport QoS inter-domeniu. Colectarea informațiilor despre contextul rețelei utilizând agenții mobili este evaluată în arhitecturi cu acces hibrid de tip WLAN – satelitar, respectiv WLAN –UMTS. Conjunctia dintre constrângerile aplicațiilor din nodul sursă și contextul dinamic al rețelei, realizată prin intermediul profilelor QoS ale modelului I-NAME, reprezintă componenta esențială a mecanismului cu suport QoS inter-domeniu propus. Sunt prezentate profile QoS, setul de parametri QoS cu ponderile parametrice asociate și fluxul mesajelor transmise între nodurile rețelei, elemente care dau specificul modelului I-NAME. Selectarea celui mai bun traseu până la nodul destinație cu asigurarea unei valori a întârzierilor de transmisie cap-la-cap impuse de aplicația sursă, identificarea modificărilor în rețea cu păstrarea setului de valori de prag inițial solicitate și adaptarea sursei în mod treptat la caracterul dinamic al rețelei prin fragmentare și codare adaptivă, reprezintă criteriile de evaluare ale modelului I-NAME.

Capitolul 7, Contribuții la îmbunătățirea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații, încheie lucrarea sintetizând contribuțiile aduse la îmbunătățirea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații.

Capitolul 2

Calitatea serviciilor în rețelele de telecomunicații

Este o adevărată dispută dacă mecanismele QoS sunt necesare sau nu. Una din opinii este că mediul va oferi o capacitate de transfer suficientă și ieftină, astfel că suportul QoS va fi oferit în mod automat. Cealaltă opinie este aceea că indiferent de cât de multă capacitate de transfer ar dispune rețeaua, noile aplicații vor fi proiectate pentru a o consuma; deci, mecanismele QoS vor fi în continuare absolut necesare pentru a oferi suport QoS [Xia99].

Din această afirmație se poate observa faptul că problematica QoS vizează mecanismele de asigurare a suportului QoS, implementate în sisteme de telecomunicații pe structuri cablate ori având ca suport de transmisie mediul radio, la conjuncția dintre capabilitățile rețelei și cerințele aplicației.

2.1 Structura capitolului

În ultima decadă a fost depus un efort considerabil în vederea extinderii arhitecturilor IP și asigurării unui suport QoS pentru aplicațiile multimedia.

Rețelele IP au evoluat de la un model ce oferea suport pentru servicii fără prioritate, în care toate transmisiile erau considerate egale și nu erau oferite garanții de livrare, către unul ce poate oferi un suport predictibil, în acord cu cerințe QoS specifice [Tan03].

Mai mult, aplicațiile actuale sunt asociate interacțiunii cu utilizatorul și cu abilitatea acestuia de a selecta diferite scenarii în același timp. Abordând perspectiva cerințelor aplicației și capacității rețelei de a răspunde la aceste solicitări, capitolul este structurat în opt paragrafe după cum urmează:

- (1) structura capitolului, prezentând modul de organizare al conceptelor abordate în contextul calității serviciilor în rețelele de telecomunicații;
- (2) definirea noțiunii de calitate a serviciilor și a conceptului QoS în rețelele de telecomunicații au ca scop încadrarea noțiunilor în aria tematică a tezei.

O primă abordare în asigurarea suportului QoS localizează mecanismul QoS la sistemul terminal, incluzând: (1) controlul debitului la sursă, (2) adaptarea ratei de transfer, (3) controlul pachetelor eronate și (4) retransmisiile. Multe din aceste mecanisme, din perspectiva unui QoS intrinsec, pot fi caracterizate ca și aplicații adaptive.

O altă abordare de asigurare a suportului QoS este aceea de a asigura în cadrul rețelei un mecanism ce are la bază monitorizarea parametrilor QoS. În această abordare, nodurile rețelei joacă un rol activ în controlul calității serviciului cap-la-cap (*end-to-end*). Acest lucru a determinat introducerea unor mecanisme de control al traficului, cum ar fi: (1) controlul accesului, (2) politicile de trafic, (3) clasificarea și (4) ordonarea. În acest sens, au fost propuse câteva modele de servicii și mecanisme cu scopul satisfacerii cerințelor QoS.

Dintre acestea, cele mai notabile sunt: (1) modelul cu servicii integrate, (2) modelul cu servicii diferențiate, (3) comutația multiprotocol pe bază de etichete, (4) ingineria traficului și (5) constrângerile de rutare.

(3) descrierea parametrilor, analiza modelelor, descrierea serviciilor, clasificarea mecanismelor și serviciilor QoS anterior enumerate fac subiectul următoarelor cinci paragrafe prezentate;

(4) ultimul paragraf sintetizează capitolul, prezentând totodată înțelegerea autorului în abordarea conceptului QoS în rețelele de telecomunicații

2.2 Definirea noțiunii de “calitate a serviciilor”

Termenul de “serviciu” din paradigma “calitatea serviciilor în rețele de telecomunicații” face referire la conținutul informației furnizate unui utilizator al aceluși serviciu.

În consecință, serviciul de telecomunicații reprezintă capacitatea unui utilizator de a comunica cu un alt utilizator prin transmiterea și recepționarea de informație, având specificat modul în care:

- (1) utilizatorul inițiază un schimb de informație;
- (2) este realizat schimbul de informație;
- (3) este formatată informația în vederea transmisiei;
- (4) se fac retransmisiile și corecțiile de erori;
- (5) are loc taxarea schimbului informațional încheiat.

Termenul de “calitate” din paradigma “calitatea serviciilor în rețele de telecomunicații” este un concept mult mai evaziv, atunci când folosim pentru înțelegerea lui descrierea dată în dicționarul explicativ. În contextul calității serviciilor, calitatea este acea măsură prin care utilizatorul va evalua serviciul respectiv. Astfel, evaluarea calității va fi exprimată printr-un grad sau măsură a serviciului respectiv. Factorii care vor determina evaluarea calității serviciilor oferite sunt influențați de:

- (1) caracteristicile serviciului pe care utilizatorul le va evalua;
- (2) setul de valori pe care utilizatorul le va considera în evaluarea serviciului;
- (3) percepția și experiența utilizatorului asupra calității.

2.3 Definirea conceptului QoS

Termenul QoS (*Quality of Services*) este acronimul pentru noțiunea de calitate a serviciilor. Există un consens relativ scăzut referitor la definiția QoS [Goz03] [ISO-8402].

Mulți cercetători percep și interpretează termenul QoS în moduri diferite [Har01], [ITU-T E.800]. Paragraful are ca scop reunirea acestor puncte de vedere și totodată ilustrarea perspectivelor ITU, ETSI și IETF. Conceptului QoS îi sunt asociate trei noțiuni, definite în modelul general [Har01]:

- (1) QoS intrinsec – este determinat de tipul rețelei de transport și de garantarea/asigurarea accesului în rețea;
- (2) QoS perceput – reflectă experiența utilizatorului de a folosi un anumit serviciu cât și așteptările utilizatorului în raport cu performanțele serviciului analizat;
- (3) QoS alocat – devine vizibil în momentul în care utilizatorul decide continuarea sau nu a serviciului.

Perspectivile *ITU* și *ETSI* relative la terminologia QoS sunt aproximativ asemănătoare. Ambele organizații adoptă aceeași definiție a conceptului QoS, prezentată mai întâi în [ITU-T E.800] ca “efectul cumulat al performanței serviciului ce determină gradul de satisfacere al utilizatorului serviciului”. În viziunea *ITU/ETSI*, QoS se apropie mai mult de conceptul QoS perceput decât QoS intrinsec.

IETF se concentrează pe QoS intrinsec și nu se ocupă de QoS perceput. QoS este înțeles de *IETF* ca “un set de cerințe ale serviciului ce trebuie întrunite de rețea pe durata transportului unui flux informațional” [RFC 2386].

În contextul unui trafic heterogen vehiculat într-o rețea [Par05] [Gan03], există numeroși factori și componente ce afectează performanțele aplicațiilor multimedia. Grupând toate aceste elemente, problema calității serviciilor poate fi privită din două perspective majore:

- (1) QoS din punctul de vedere al rețelei (*network perspective*);
- (2) QoS din punctul de vedere al aplicației/utilizatorului (*application/user perspective*).

Din perspectiva rețelei, QoS se referă la calitatea serviciului sau nivelului pe care rețeaua îl oferă aplicației/utilizatorului în termeni de parametri QoS, incluzând: întârzierile pachetelor în rețea (*delay/latency*), debitul oferit (*throughput*) și livrarea sigură a pachetelor la destinație (*reliability*).

Din punctul de vedere al rețelei, termenul QoS definește capabilitatea rețelei de a asigura calitatea serviciului perceput de utilizatorul final.

Din perspectiva utilizatorului/aplicației, QoS se referă la calitatea serviciului percepută de către utilizator. Aplicația și utilizatorul sunt grupați în aceeași categorie datorită relației strânse dintre aceștia și a perspectivei comune de a percepe calitatea. Aplicația/utilizatorul așteaptă un anumit nivel al QoS în termenii calității prezentării unei secvențe video, a calității sunetului transmis prin rețea.

Din punctul de vedere al aplicației/utilizatorului, termenul QoS reprezintă percepția utilizatorului asupra calității serviciului oferit în rețea.

2.4 Parametrii QoS ai rețelei

Parametrii QoS sunt transferați implicit sau explicit rețelei, aceasta fiind în mare măsură responsabilă de întrunirea cerințelor solicitate. În consecință, acest paragraf va urmări în special calitatea serviciilor oferite din perspectiva rețelei, fără să negligeze însă percepția utilizatorului în evaluarea performanțelor aplicației.

În vederea aprecierii calității unei aplicații multimedia, vor fi utilizați următorii parametri QoS ce reflectă capabilitatea rețelei:

- (1) debitul, capacitatea de transfer (*bandwidth, throughput*);
- (2) întârzierile (*delay, latency*);
- (3) variația întârzierilor (*delay jitter*);
- (4) pierderile, rata erorilor (*loss, error rate*).

2.4.1 Capacitatea de transfer (rata de transfer, lățimea de bandă)

Capacitatea de transfer (sau lățimea de bandă) reprezintă acea resursă a rețelei ce trebuie monitorizată, întreținută și alocată în mod corespunzător aplicațiilor. Debitul se referă la rata de bit (sau la capacitatea de transfer), măsurată în biți per secundă (bps). Capacitatea de transfer solicitată de o aplicație depinde de caracteristicile acesteia.

Astfel, în cazul unei aplicații video, utilizatorul poate selecta calitatea imaginii, generând debite diferite, prin variația următorilor parametri: dimensiunea ferestrei de afișare, frecvența cadrelor, adâncimea culorilor, rata de compresie [Gan03].

2.4.2 Întârzierile

Întârzierile au un impact direct asupra modului în care utilizatorul percepe calitatea unei transmisii. Fiecare componentă a sistemului de comunicație ce interconectează sursa cu destinația este sursa unor întârzieri.

Putem enumera câteva din sursele de întârzieri ce apar într-un proces de comunicație: întârzierile de procesare de la sursă și destinație (eșantionare, împachetare, reasamblare, viteză de procesare), întârzierile de transmisie (funcție de dimensiunea pachetului și viteza de transmisie), întârzierile rețelei (întârzierile de propagare, întârzierile introduse de cozile de așteptare, întârzierile de protocol).

Întârzierile de propagare sunt datorate distanței fizice dintre sursă și destinație. Întârzierile în cozile de așteptare apar ca urmare a așteptării pachetelor în diferite buffere ale elementelor active din rețea, înainte de a fi transmise pe o anumită legătură. Aceste întârzieri sunt strâns corelate cu capacitatea de transfer a legăturii, încărcarea rețelei (congestia rețelei) și topologia rețelei. Întârzierile de protocol apar datorită utilizării și aplicării protocoalelor de comunicație de către diferite elemente active din rețea.

2.4.3 Variația întârzierilor (jitter-ul)

Variația întârzierilor este metrica QoS ce se referă la variațiile de întârziere introduse de componentele aflate pe traseul de comunicație. Cum fiecare pachet traversează diferite trasee, condițiile rețelei pentru fiecare din aceste pachete pot fi diferite.

Întârzierile comunicației cap-la-cap suferă variații concretizate în distorsiuni de sincronizare. Există câteva modalități de rezolvare a variației întârzierilor (jitter-ului) la receptor:

- (1) Sincronizarea semnalului se realizează pentru fiecare pachet recepționat, tactul de citire a datelor fiind diferit de cel de la emisie. Acest mod de refacere al semnalului introduce însă numeroase distorsiuni la receptor.
- (2) O altă metodă este aceea a refacerii semnalului având la bază tactul de la emisie. Datele care lipsesc în momentul citirii pe tactul de la receptor vor fi ignorate. Prin această tehnică însă se va pierde o parte din datele transmise ca urmare a întârzierilor de transmisie.
- (3) Folosirea unui buffer de eliminare a jitter-ului (*de-jitter buffer*) poate fi una din soluțiile cel mai bine adoptate. Toate pachetele sunt stocate într-un buffer, fiind reținute un anumit interval de timp înainte de a fi retransmise către receptor. Retransmisia se face sincron cu tactul de la emisie. Gradul de fidelitate în refacerea semnalului de la emisie este interdependent de existența unor pachete disponibile în respectivul buffer de eliminare a jitter-ului. Variații mari ale întârzierilor necesită capacități ridicate de stocare în buffere. Pe de altă parte, buffer-ele de dimensiuni mari introduc la rândul lor întârzieri ce pot fi la un moment dat critice din punct de vedere al întârzierilor suportate de către aplicație.

În concluzie, compromisul ce trebuie realizat în vederea eliminării variației întârzierilor va ține cont de următorii factori: spațiul buffer-elor de eliminare a jitter-ului, întârzierile suportate de aplicație fără ca acestea să devină critice și gradul de fidelitate în refacerea semnalului de la emisie.

2.4.4 Rata erorilor

Pachetele pierdute afectează în mod direct gradul de percepție al calității aplicației. La nivelul rețelei, pachetele pierdute apar în general ca urmare a congestiilor. Specific mediului radio, pot apărea erorile datorate unui canal de comunicație cu zgomot. Există însă metode de recuperare a pachetelor pierdute, cum ar fi: retransmisia pachetelor, corecția erorilor la strat fizic, compensarea erorilor la nivel de strat aplicație.

2.5 Cerințele QoS ale aplicațiilor

Solicitățile privind parametrii QoS necesari (capacitate de transfer, întârzieri, variația întârzierilor și pierderi) din perspectiva aplicației, sunt funcție de tipul aplicației rulate. În multe situații, utilizatorul poate testa și determina cerințele QoS ale aplicației prin investigarea factorilor care influențează calitatea acelei aplicații. Putem spune că varietatea tipurilor de aplicații rulate în medii fixe și mobile implică cerințe și perspective variate de calitate a serviciilor, funcție de caracteristicile intrinseci ale acestora.

Există numeroși factori ce influențează cerințele aplicațiilor. Din punct de vedere al nivelului de interacțiune cu utilizatorul, aplicațiile pot fi interactive sau neinteractive.

O aplicație interactivă implică forme de interacțiune (acțiune-reacțiune, cerere-răspuns sau orice schimb de informație) între entitățile implicate în comunicație. Timpul de interacțiune este esențial în desfășurarea cu succes a aplicațiilor interactive. Dintre aplicațiile interactive putem aminti:

- (1) aplicații persoană-persoană (telefonie IP, videoconferință);
- (2) aplicații persoană-mașină (realitatea virtuală, video-on-demand);
- (3) aplicații mașină-mașină (control automat).

Un alt element este capacitatea utilizatorului de a se adapta sau nu la întârzieri (*latency*) și distorsiuni (*distortion*). Toleranța la întârzieri descrie sensibilitatea utilizatorului la schimbarea valorilor parametrilor QoS ale aplicației.

Gradul de toleranță la întârzieri este strâns legat de cerințele utilizatorului, așteptările acestuia și de cât de critică este aplicația rulată. Toleranța la distorsiuni este reflectată în primul rând de fidelitatea în furnizarea aplicației.

Gradul de toleranță la distorsiuni este legat de cerințele utilizatorului, așteptările acestuia și tipul aplicației (aplicațiile audio sunt mult mai critice decât cele video).

Există de asemenea aplicații critice (*application criticality*). Acest aspect reflectă necesitatea rulării urgente a aplicației. Acest lucru va impune cerințe stricte și exacte în ceea ce privește monitorizarea și controlul parametrilor QoS.

Efectele deteriorării și modificării parametrilor impuși au consecințe nedorite. Dintre aplicațiile acestei categorii putem aminti intervențiile chirurgicale la distanță (*remote surgery*) și telemedicina (*telemedicine*).

Sunt două criterii de evaluare a parametrilor unei aplicații:

- (1) cantitativ și
- (2) calitativ.

Din punct de vedere cantitativ, cerințele unei aplicații exprimate în termeni de parametri QoS, au valori cuantificabile ce pot fi determinate din specificațiile tehnice ale aplicației sau prin măsurători experimentale.

Vorbind despre capacitate de transfer vom specifica rata medie de transfer a diferitelor tipuri de aplicații (HDTV: 1.5 Gbps, MPEG4: 5 kbps - 4 Mbps, ITU G.711: 64 kbps, ETSI GSM: 16 kbps). În cazul întârzierilor, acestea nu trebuie să depășească o anumită limită impusă (250 ms pentru aplicațiile de voce). Numărul de pachete pierdute este exprimat în procente și trebuie să fie mai mic decât o anumită valoare dată.

În contrast cu evaluarea calitativă, cerințele QoS exprimate calitativ sunt de genul: "... o capacitate de transfer cât mai mare ...", "... întârzieri foarte mici ...", "... întârzieri mai mici decât ...". Sunt numeroase motivele pentru care în unele aplicații (căutarea pe web, accesul distant etc.) evaluarea QoS se face calitativ.

Astfel, unele aplicații necesită doar servicii mai bune decât altele, pentru unele aplicații nu este posibilă cuantificarea parametrilor QoS sau uneori nu este eficientă evaluarea cantitativă a cerințelor QoS. Cum pentru aceste aplicații nu sunt specificați anumiți parametri QoS, este destul de dificil din partea rețelei să asigure servicii cuantificabile, cantitative.

2.6 Servicii și mecanisme QoS

Așa cum a fost prezentat în paragraful anterior, există două categorii de apreciere a aplicațiilor în termeni de parametri QoS: cantitativ și calitativ. [Llo02]

Parametrii QoS sunt transmiși rețelei, implicit sau explicit, sub formă cantitativă sau calitativă. Astfel, rețeaua va răspunde cerințelor QoS solicitate de o aplicație prin furnizarea unor servicii QoS (*QoS services*) folosind mecanisme QoS (*QoS mechanisms*).

În continuare vor fi descrise tipurile de servicii QoS cât și mecanismele de asigurare a acestor servicii. Din perspectiva rețelei, aceasta furnizează servicii și suportă aplicații.

2.6.1 Servicii QoS

Serviciile QoS sunt clasificate pe baza a două criterii:

- (1) tipul de serviciu furnizat (perspectiva rețelei, cea care oferă suportul pentru aplicație) [Gan03];

Servicii garantate (cantitative) - Guaranteed services (quantitative)

Serviciile garantate (cantitative) oferă cel mai ridicat nivel de calitate al serviciilor (*hard QoS*). Acest tip de serviciu garantează furnizarea resurselor necesare aplicației (capacitate de transfer, întârzieri, variația întârzierilor) în termeni statistici sau deterministici. În cazul acestor servicii, rețeaua garantează un minim de capacitate de transfer dedicat acelei aplicații sau garantează întârzieri ale pachetelor între anumite valori.

Servicii diferențiate (calitative) - Differentiated services (qualitative)

Serviciile diferențiate (calitative) oferă nivele de calitate a serviciilor în mod diferențiat pe clase de aplicații (*soft QoS*), fiecare clasă având asociat un anumit nivel de prioritate. Altfel spus, o aplicație aparținând unei clase de prioritate ridicată va fi deservită înaintea unei aplicații de prioritate scăzută (calitatea serviciului oferit unei clase de aplicații asigură întârzieri mai mici decât în cazul unei alte clase de aplicații). Aplicațiile grupate în aceeași clasă de prioritate sunt tratate în mod egal.

Servicii best-effort - Best-effort services

Serviciile *Best Effort* sunt servicii fără prioritate, care nu garantează nici un nivel de performanță, întregul trafic fiind tratat în mod egal. Acest tip de serviciu este destinat aplicațiilor care nu necesită intervale critice de livrare a informației sau lățimi de bandă minime impuse.

- (2) entitatea deservită (perspectiva aplicației/utilizatorului, cea care folosește resursele rețelei) [Gan03];

Servicii QoS per-flux - Per-flow QoS services

Serviciile QoS sunt asigurate per-fluxuri (aplicații) individuale, garantat sau diferențiat. Mecanismul de clasificare (cel care diferențiază fluxurile) este esențial în implementarea serviciilor QoS per-flux.

Servicii QoS per-clasă - Per-class QoS services

Aplicațiile sunt împărțite în clase (grupuri) pe baza a diferite criterii: cerințe QoS, tipuri de aplicații, familii de protocoale etc. Serviciile QoS sunt asigurate per clase separate, garantat sau diferențiat. Mecanismul de clasificare (cel care identifică și grupează aplicațiile) este esențial în implementarea serviciilor QoS per-clasă. Aplicațiile aparținând acelorași clase vor avea același nivel QoS.

Lățimea de bandă (sau capacitatea de transfer) reprezintă principala resursă a rețelei ce trebuie distribuită și partajată între toți utilizatorii astfel încât toate cerințele QoS să poată fi realizate în mod simultan. Există două modalități de abordare a acestui aspect:

- (1) Suplimentarea capacității de transfer (*bandwidth over-provisioning*): pentru o rată de transfer solicitată ce depășește resursele oferite de rețea, în vederea suportului QoS, este suplimentată capacitatea de transfer prin folosirea unei infrastructuri ce oferă debite mai ridicate.
- (2) Administrarea capacității de transfer (*bandwidth management*): presupune monitorizarea ratelor de transfer prin mecanisme QoS.

2.6.2 Mecanisme QoS

Mecanismele QoS pot fi împărțite în două categorii, funcție de modul în care este tratat traficul [Gan03]:

- (1) mecanisme de gestionare a traficului (*traffic handling mechanism*);

Mecanismele de gestionare a traficului, cunoscute și sub numele de mecanisme în trafic (*in-traffic*), sunt mecanisme de clasificare (*classification*), control al accesului la canalul de transmisie (*channel access*), planificare a pachetelor (*packet scheduling*) și politici de trafic (*traffic policing*).

- (2) mecanisme de gestionare a capacității de transfer (*bandwidth management mechanism*).

Mecanismele de gestionare a capacității de transfer, cunoscute și sub numele de mecanisme în afara traficului (*out-of-traffic*), sunt mecanisme de semnalizare a rezervării resurselor (*resource reservation signaling*) și de control al acceptării (*admission control*).

2.7 Mecanisme de clasificare QoS

Serviciile de tip *Best Effort* sunt servicii care nu asigură suport QoS. Traficul este tratat în mod egal, indiferent de tipul aplicației sau de sursa care îl generează. Unele aplicații însă necesită suport QoS, având nevoie de servicii diferențiate sau garantate.

Pentru ca rețeaua să asigure suport selectiv pentru aplicațiile rulate, trebuie implementat un mecanism de clasificare. Acest mecanism are rolul de a identifica și de a separa traficul în fluxuri individuale sau de a le grupa în clase de prioritate (fluxuri agregate).

Mecanismul de clasificare per-fluxuri și/sau per-clase este în acord cu serviciile QoS, funcție de entitatea deservită. Pentru a putea fi identificate și apoi clasificate, este necesară o marcarea a fluxurilor (pachetelor).

În Figura 2.1 sunt prezentate modalitățile de clasificare existente la nivelul diferitelor straturi ale modelului ISO/OSI.

Stratul ISO/OSI	Tehnica de clasificare
Aplicație	Identificare aplicație/utilizator
Transport	Flux (câmpurile antetului IP)
Rețea	IP ToS, DSCP
Legături de date	802.1p/Q

Tabelul 2.1 Tehnici de clasificare la nivelul straturilor ISO/OSI

2.7.1 Clasificarea la nivel de strat legături de date

Clasificarea traficului la nivel de strat legături de date (*MAC*) se face pe baza unei etichete 802.1p/Q (*priority tag*). Inserarea etichetei de prioritate este realizată de către aplicație sau de către comutatorul de strat legături de date.

Comutația la nivelul stratului legături de date, înainte de dezvoltarea acestui standard, era fără existența vreunei priorități, pachetele stocate în cozile de așteptare fiind servite după regula FIFO (*First In First Out*).

Prin intermediul etichetei IEEE 802.1p/Q sunt adăugați 3 biți la fiecare cadru de prioritate. Astfel este posibilă identificarea și împărțirea traficului în mai multe cozi de așteptare la nivelul echipamentelor de strat 2, servirea făcându-se conform mecanismului de prioritate implementat în cozile de așteptare.

Pot fi implementate până la 7 clase de prioritate. Aceste clase de priorități sunt prezentate în Tabelul 2.2.

Clasa de prioritate	Tipul traficului
0	best effort (implicit)
1	background (inferior best effort)
2	standard (rezervat)
3	excellent effort (rezervat)
4	controlled load (sensibil la întârzieri)
5	video (sensibil la întârzieri mai mici de 10 ms)
6	voice (sensibil la întârzieri mai mici de 100 ms)
7	network control (rezervat)

Tabelul 2.2 Clasele de priorități și serviciile asociate prin intermediul standardului IEEE 802.1p/Q

Eticheta IEEE 802.1p face parte din antetul IEEE 802.1Q. Are lungimea de 4 octeți ce se inserează după câmpul adresă sursă. Avantajul adus de antetul IEEE 802.1Q este posibilitatea creării unor rețele virtuale cu scopul creșterii eficienței transmisiei între anumite stații. Problema care apare este însă cea a echipamentelor de strat 2 care nu cunosc structura noului cadru, situație în care cadrul este rejectat.

2.7.2 Clasificarea la nivel de strat rețea

Clasificarea la nivel de strat 3 se face pe baza unor câmpuri din antetul IP. În antetul pachetelor ce implementează protocolul IPv4 sau IPv6 sunt definite câmpuri de prioritate ce servesc clasificării la nivel de strat rețea.

Implementarea clasificării la strat rețea a fost gândită pentru a permite independență de tehnologiile utilizate pe stratul legături de date.

În antetul protocolului IPv4 [RFC 1349] este definit câmpul ToS (*Type of Service*). Acest câmp apare între câmpul “lungime antet” și câmpul “lungime totală”.

Câmpul ToS este unul din puținele câmpuri care a suferit modificări în structura antetului datagramei IPv4 [RFC 2386]. Astfel, IETF a redefinit câmpul ToS din antetul IPv4, noul câmp DSCP (*Differential Service Code Point*) reprezentând de fapt gruparea câmpurilor IP Precedence, D, T și R.

Cele două tipuri de câmpuri antet ToS și DSCP permit oferirea a două categorii de servicii QoS: IntServ (*Integrated Services*, servicii integrate) și DiffServ (*Differentiated Services*, servicii diferențiate).

În cazul modelului IntServ garantarea resurselor se face pe întreg traseul dintre sursă și destinație pentru fiecare flux în parte, iar în cazul modelului DiffServ garantarea se face din nod în nod pentru un flux agregat.

În continuare vor fi prezentate pe scurt cele două tehnici amintite. Valorile DSCP sunt alocate astfel încât să permită compatibilitate cu valorile IP Precedence ale câmpului ToS. Conform [RFC 2474], primii 3 biți DSCP vor fi folosiți pentru selectarea clasei de prioritate [Har01]. În Anexa_2 va fi sintetizată corespondența între valorile IP Precedence, DSCP și clasele de prioritate DSCP.

2.7.2.1 IntServ (*Integrated Services*, servicii integrate)

Folosirea câmpului ToS din antetul IPv4 permite o clasificare pentru fiecare flux solicitat (*per-flow*). Această modalitate de garantare a cerințelor QoS se numește IntServ (*Integrated Services*).

IntServ creează un traseu privat de la un capăt la altul al legăturii (*end-to-end*) stabilit și menținut de către fiecare router de pe traseu și de către punctele terminale. Nici un pachet nu este transmis înainte ca întreaga rută să fie capabilă să ofere și să mențină cerințele necesare acelei comunicații.

Protocolul folosit pentru rezervarea resurselor în rețea cât și pentru confirmarea rezervării resurselor este protocolul RSVP (*Resource ReSeRVation Protocol*). Protocolul de rezervare a resurselor RSVP, presupune că resursele sunt rezervate pentru fiecare flux de date în parte ce necesită QoS în fiecare nod al rețelei (*router*), pe traseul dintre emițător și receptor.

Modelul IntServ definește trei clase de servicii: servicii garantate [RFC 2212], cu garantarea debitului, întârzierilor și fără pierderi, servicii controlate [RFC 2211], cu un grad scăzut de rezervare în condițiile unui trafic ridicat și servicii best-effort, practic fără rezervare.

Un dezavantaj al modelului IntServ ar fi acela că dacă topologia rețelei se modifică, rezervările trebuie renegociate simultan. Măsurătorile de trafic au arătat faptul că o conexiune cap-la-cap (*end-to-end*) durează un timp foarte scurt.

Robustețea protocolului RSVP este evidențiată și prin faptul că trebuie transmise la intervale periodice mesaje pentru a menține rezervarea făcută, lipsa unor astfel de mesaje ducând la pierderea rezervării făcute. [RFC 2205]

2.7.2.2 DiffServ (*Differentiated Services, servicii diferențiate*)

DiffServ grupează traficul în fluxuri agregate (clase de servicii) și controlează traficul filtrând pachetele la intrarea în rețea fără a avea cereri explicite de rezervare a resurselor rețelei. Avantajul abordării DiffServ este acela că nu necesită monitorizarea stării tuturor elementelor rețelei, acesta făcându-l superior protocolului RSVP.

Arhitectura DiffServ oferă scalabilitate prin agregarea traficului clasat pe diferite nivele, trafic ce este încapsulat la nivelul stratului rețea și marcat prin intermediul câmpului DSCP.

Pachetele sunt clasificate și marcate în vederea obținerii unei caracteristici de retransmitere în următorul nod (hop), de-a lungul traseului dintre sursă și destinație. Pe baza acestei clasificări se face distribuirea în cozile de așteptare din fiecare nod (PHB).

În fiecare nod există mai multe cozi de procesare, fiecare pachet clasificat și marcat DSCP fiind alocat cozii corespunzătoare. Traficul provenind din fluxuri de date diferite dar cu același DSCP sunt agregate într-o coadă comună.

Principalul avantaj al grupării traficului în fluxuri agregate este scăderea drastică a mesajelor de stabilire a priorităților. Un lucru important este atribuirea aceluși nivel DSCP stabilit între furnizorul de servicii și beneficiar (*SLA*). Dacă traficul solicitat este peste nivelul agreat, poate fi tratat ca best effort.

Serviciile diferențiate în cadrul unui domeniu DiffServ sunt stabilite la intrarea în domeniu prin stabilirea unui SLA (*Service Level Agreement*, nivel al serviciului). Stabilirea nivelului serviciului (*SLA*) reprezintă clasificarea pachetelor, urmată de stabilirea regulilor de marcare și apoi de specificarea profilului de trafic (*traffic profile*). Acesta din urmă specifică proprietățile temporale ale fluxului de date selectat pe baza clasificării realizate.

PHB (*Per-Hop Behavior*) are înțelesul alocării de resurse pachetelor din trafic de către un nod, astfel încât acestea vor fi tratate într-un anumit fel în nodul următor pe baza DSCP.

Protocolul IPv6 [RFC 2460] definește câmpul “clasă de trafic” (*Traffic Class*) și câmpul “etichetă flux” (*Flow Label*) în vederea implementării QoS la nivel de strat rețea.

2.7.3 Clasificarea la nivel de strat transport

La nivelul stratului transport clasificarea se poate face pe baza a cinci elemente din antetul IP: adresă IP sursă, adresă IP destinație, port sursă, port destinație și protocol IP. Aceste câmpuri din antetul IP pot identifica în mod unic un flux de date (aplicație), clasificarea asigurând în acest fel servicii QoS per-flux.

Deși asigură o fină granularitate a traficului, clasificarea la nivel de strat transport prin identificarea fiecărui flux în parte poate prezenta o problemă de dimensionare a cozilor de așteptare dintr-o rețea în care este vehiculată o cantitate importantă de trafic.

De asemenea, o altă problemă apare în momentul în care utilizatorul se află în spatele unui firewall ce folosește NAT (*Network Address Translation*), adresa IP reală fiind ascunsă rețelelor cu care acesta este conectat. În această situație, clasificarea la nivel de strat transport nu mai este posibilă.

2.7.4 Clasificarea la nivel de strat aplicație (utilizator)

Clasificarea la nivel de strat aplicație presupune atribuirea unui identificator de aplicație (*application ID*) unic ce marchează fiecare nouă sesiune. Implementarea unei astfel de clasificări presupune existența unui sistem de semnalizări între o entitate centrală și aplicația căreia îi este alocat identificatorul.

2.7.4.1 SIP (*Session Initiation Protocol*)

O modalitate de clasificare la nivel de strat aplicație o oferă protocolul SIP (*Session Initiation Protocol*), protocol de semnalizare (control) al stratului aplicație folosit pentru inițializarea, menținerea și eliberarea sesiunilor audio și/sau video în timp real, cu unul sau mai mulți participanți, aflați într-o relație unicast sau multicast.

Protocolul SIP nu furnizează servicii, ci primitive care pot fi folosite la implementarea anumitor servicii; nu alocă adrese multicast și nu rezervă resursele rețelei, dar poate transmite informațiile necesare pentru aceasta, informații ce pot fi utile clasificării la nivel de strat aplicație.

Ceea ce recomandă SIP pentru clasificarea la nivel de strat aplicație este arhitectura specifică și mesajele transmise între entități. Prezentarea arhitecturii și a mesajelor SIP sunt prezentate în paragraful dedicat evaluării performanței protocolului.

2.8 Concluzii

Concluzionând diferitele perspective și opinii prezentate, autorul definește conceptul QoS ca acel set de parametri ce caracterizează capabilitățile rețelei (QoS intrinsec/QoS din punctul de vedere al rețelei) [Llo02] în vederea satisfacerii cerințelor utilizatorului (QoS perceput/QoS din punctul de vedere al aplicației/utilizatorului) [Veg01]. Definiția stă la baza conceptului QoS dezvoltat în teză și este rezultatul studiilor sintetizate în acest capitol.

Există numeroși factori și componente care afectează performanțele aplicațiilor multimedia. Grupând toate aceste elemente, consideră problema QoS având două perspective majore [Pus05j]:

- (1) perspectiva rețelei, implicând o analiză obiectivă;
- (2) perspectiva aplicației/utilizatorului, implicând o analiză subiectivă.

Din perspectiva rețelei, QoS se referă la calitatea sau nivelul serviciului oferit aplicației/utilizatorului în termeni de parametri QoS ai rețelei, incluzând: întârzieri, jitter, pachete pierdute și debit. Din perspectiva aplicației/utilizatorului, QoS se referă la calitatea aplicației percepută de utilizator.

Pornind de la observațiile făcute și cumulând tendințele actuale ale conceptului QoS, autorul a dezvoltat două concepte QoS ce presupun integrarea unor elemente de bază în domeniul calității serviciilor [Pus06a], și anume:

- (1) QoS vertical;
- (2) QoS orizontal.

Conceptul QoS vertical integrează mecanismele de rezervare a resurselor QoS intra-domeniu în sisteme cu acces radio. Mecanismele QoS intra-domeniu sunt deja incluse în ultimele standarde ce descriu arhitecturile radio (de exemplu, standardul IEEE 802.11, standardul IEEE 802.16, standardul DVB-S) sau sunt definite ca și extensii ale standardelor existente.

Un proces de rezervare a resurselor intra-domeniu este unul simplu, dacă resursele sunt gestionate de o singură entitate sau de un set de entități ce utilizează un protocol de negociere comun.

Conceptul QoS vertical propune separarea aspectelor QoS la nivelul fiecărui strat. Cum fiecare strat își aduce contribuția la calitatea serviciului oferit, conceptul QoS vertical presupune extragerea parametrilor QoS specifici la nivelul fiecărui strat al rețelei.

Capitolul 3 și capitolul 4 al lucrării vor defini și vor evalua câteva dintre mecanismele QoS intra-sistem potrivit abordării QoS vertical.

Conceptul QoS orizontal presupune existența unui mecanism de rezervare QoS inter-domeniu într-un sistem cu acces radio hibrid.

Modelele utilizând agenți mobili și I-NAME propuse în această lucrare au la bază implementarea conceptului de QoS orizontal.

Modelul I-NAME se constituie ca un mecanism de management al serviciilor și de configurare automată a resurselor într-un sistem cu acces heterogen, având la bază analiza parametrilor QoS evaluați la nivelul diferitelor straturi realizată din perspectiva rețelei (QoS vertical). În felul acesta, I-NAME integrează cele două concepte dezvoltate. Totodată, mecanismul inter-domeniu I-NAME asigură un sistem de management integrat al resurselor și reprezintă contribuția majoră a tezei.

Capitolul 5 și capitolul 6 al lucrării descriu și evaluează modelele QoS inter-domeniu potrivit abordării QoS orizontal.

Capitolul 3

Specificul QoS intra-domeniu în sisteme cu acces radio

Deși modelele de tip IntServ (*Integrated Services*) și DiffServ (*Differentiated Services*) reprezintă soluții fiabile de suport QoS la nivelul stratului rețea IP, noile categorii de sisteme cu acces radio necesită implementarea unor mecanisme QoS la nivelul stratului de control al accesului la mediu care să răspundă, să armonizeze și să aloce configurările setate la nivelul straturilor superioare.

3.1 Structura capitolului

Descrierile de implementare ale sistemelor cu acces radio prezintă specificații la nivelul stratului de control al accesului la mediul de transmisie (MAC) și la nivelul stratului fizic (PHY).

Pentru a garanta un anumit nivel QoS asociat la straturile superioare, sistemele cu acces radio trebuie să asigure implementarea unor mecanisme QoS intra-domeniu la nivelul stratului MAC.

Urmărind descrierea specificului QoS intra-domeniu, capitolul este structurat pe șase paragrafe, după cum urmează:

- (1) structura capitolului, introduce aspectele vizate de mecanismele QoS intra-domeniu și prezintă modul de organizare al capitolului pe paragrafe;
- (2) clasificarea sistemelor cu acces radio grupează diferitele categorii de rețele wireless în funcție de raza de transmisie a acestora;
- (3) din categoria rețelelor extinse este prezentat specificul mecanismului QoS al sistemelor satelitare în standard DVB-RCS;
- (4) profilul adaptiv al salvelor de acces la mediul de transmisie, controlul centralizat și diferențierea traficului în clase de servicii reprezintă elementele de bază ale mecanismului QoS integrat în standard IEEE 802.16;
- (5) succesul rețelelor wireless locale și necesitatea de a rula servicii multimedia în sisteme ce implementează standardul IEEE 802.11, au determinat extinderea specificațiilor inițiale cu descrierea unor mecanisme QoS atât pentru modul având coordonare distribuită cât și pentru modul având control centralizat;
- (6) ultimul paragraf prezintă concluziile capitolului, arătând necesitatea unui suport QoS cap-la-cap intra-domeniu dar mai ales inter-domeniu.

3.2 Clasificarea sistemelor cu acces radio

Sistemele cu acces radio includ o varietate largă de rețele de voce și date ce permit utilizatorilor stabilirea unor conexiuni pe distanțe mai lungi sau mai scurte prin utilizarea unor dispozitive ca și calculatoarele fixe sau portabile, terminale PDA (*Personal Digital Assistant*), terminale celulare etc.

Dintre organizațiile care se ocupă cu abordarea problemelor în sistemele wireless amintim: IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), IETF (*Internet Engineering Task Force*), WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), ITU (*International Telecommunication Union*) și ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

La fel ca și în cazul sistemelor de comunicații prin cablu, funcție de aria deservită, sistemele cu acces radio pot fi clasificate în câteva categorii [Mao09], și anume:

(1) Rețele wireless extinse WWANs (*Wireless Wide Area Networks*)

Tehnologiile de tip WWAN permit conexiuni wireless distante, peste rețele publice sau private. Aceste conexiuni pot fi stabilite și menținute peste arii geografice extinse cum ar fi țări sau continente, prin amplasarea unor sisteme de antene sau utilizarea unor sisteme de comunicații prin satelit. Dintre tehnologiile WWAN amintim: sistemele satelitare DVB-RCS (*Digital Video Broadcasting - Return Channel Systems*), generația de sisteme 2G cu exponenții săi GSM (*Global System for Mobile Communications*), CDPD (*Cellular Digital Packet Data*) și CDMA (*Code Division Multiple Access*), generația de sisteme 2.5G și generația de sisteme 3G.

(2) Rețele wireless metropolitane WMANs (*Wireless Metropolitan Area Networks*)

Tehnologiile de tip WMAN permit conexiuni între locații multiple ale unei zone metropolitane (între clădirile unui oraș sau campus universitar). Dintre tehnologiile WMAN amintim: WiMAX (*Worldwide interoperability for Microwave Access* în standard IEEE 802.16), ETSI BRAN (*ETSI Broadband Radio Access Networks*), HiperMAN (*HIGH PERFORMANCE Radio Metropolitan Area Networks*), ETSI BRAN HiperACCESS (*ETSI BRAN HIGH PERFORMANCE Radio ACCESS*), MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) și LMDS (*Local Multipoint Distribution Services*).

(3) Rețele wireless locale WLANs (*Wireless Local Area Networks*)

Tehnologiile de tip WLAN permit conexiuni wireless în interiorul unei arii locale (în interiorul unei clădiri sau spațiu public). Dintre tehnologiile WLAN amintim: WiFi (*Wireless Fidelity* în standard IEEE 802.11 cu varietățile IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g și IEEE 802.11n), ETSI HiperLAN1 (*ETSI HIGH PERFORMANCE Local Area Networks Type 1*), ETSI HiperLAN2 (*ETSI HIGH PERFORMANCE Local Area Networks Type 2*).

(4) Rețele wireless personale WPANs (*Wireless Personal Area Networks*)

Tehnologiile de tip WPAN permit conexiuni wireless de tip ad-hoc utilizate în așa numitul spațiu de operare personal POS (*Personal Operating Space*) care nu depășește distanța de câțiva metri sau zeci de metri. Dintre tehnologiile WPAN amintim: Bluetooth, IR (*InfraRed*) și WPAN (*Wireless Personal Area Networks* în standard IEEE 802.15).

3.3 QoS în rețelele wireless extinse în standard DVB-RCS

Rețelele satelitare permit stabilirea comunicațiilor oriunde în lume, pe arii extinse, atât în zone dens populate cât și în zone izolate, acolo unde altor sisteme de comunicații le este foarte dificil să ajungă. În mod tradițional sateliții au fost utilizați pentru difuziunea programelor de televiziune.

În ultimii ani însă, industria sateliților a evoluat, aria comunicațiilor prin satelit extinzându-se și la comunicațiile satelitare bidirecționale. Această evoluție a fost posibilă ca urmare a performanțelor tehnologice atinse, a costurilor scăzute a echipamentelor utilizator și accesibilității serviciilor în toate regiunile lumii.

Sistemele satelitare sunt arhitecturi standardizate proprietate unei anumite companii sau organizații. În Europa, problema standardizării comunicațiilor prin satelit a fost preluată de **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*).

Standardele vizând comunicațiile prin satelit au fost publicate în cadrul proiectului DVB (*Digital Video Broadcasting*). DVB a reunit o serie de operatori, organisme de standardizare, producători, companii de difuziune, cu scopul de a proiecta un standard global de furnizare a serviciilor de televiziune și de date [ETSI ET802].

Rețelele satelitare sunt caracterizate funcție de distanța față de Pământ. Sateliții pot orbita în jurul Pământului pe trei mari orbite cunoscute sub numele de orbite geostaționare GEO (*Geostationary Earth Orbit*), orbite medii MEO (*Medium Earth Orbit*) și orbite joase LEO (*Low Earth Orbit*). Acești sateliți operează în banda Ku (10-17 GHz) sau în banda Ka (18-31 GHz).

Sistemele de sateliți oferă suport pentru voce, date și servicii de difuziune globale. Au o arhitectură de bază asemănătoare sistemelor celulare, cu excepția că stațiile de bază orbitează în jurul Pământului.

Sateliții geostaționari oferă arii de acoperire foarte extinse datorită înălțimii la care sunt plasați în raport cu Pământul. Rețelele de sateliți ce orbitează la înălțimi relativ mici în raport cu Pământul deservesc arii de acoperire mai mici, aceste arii de acoperire modificându-se în timp.

Ca urmare a modificării ariei de acoperire deservite, pentru a menține conexiunile pentru utilizatorii fiși sau puncte fixe de serviciu, este necesară realizarea procedurii de transfer al legăturii între sateliți.

Și în cazul sistemelor de satelit, dimensiunea celulei deservite este invers proporțională capacității sistemului. Cum sateliții geostaționari deservesc celule extinse, aceste sisteme au capacități reduse, costuri ridicate și rate de transfer scăzute, sub 10 kbps.

Dimensiunea celulei deservite de un satelit cu orbită joasă LEO este mult mai mare decât a unei macrocelule terestre. Tendința actuală în sistemele de sateliți este de a utiliza sateliții cu orbite joase LEO. Avantajul adus este faptul că dispozitivul utilizator se poate conecta direct la satelit, iar întârzierile de propagare nu afectează calitatea comunicației.

3.3.1 Sisteme satelitare de video-difuziune având canal descendent (DVB-RCS)

Sistemele DVB ce asigură un canal de comunicație bidirecțional (canal ascendent și descendent) poartă numele de sisteme satelitare de video-difuziune având canal descendent DVB-RCS (*DVB Return Channel Systems*) [ETSI EN790].

Familia de standarde DVB include comunicațiile satelitare geostaționare (GEO) cu diferite opțiuni de configurare pentru canalele ascendente (*uplink/return channel*) și descendente (*downlink/forward channel*).

Canalul descendent a fost utilizat tot mai mult în interconectarea cu diferite tipuri de rețele: telefonie, ISDN, cablu TV, GSM, DECT, LMDS etc. Specificațiile pe canal descendent în cadrul sistemelor DVB-RCS includ recomandările DVB specifice sistemelor de difuziune satelitare. Pe canal ascendent sistemele DVB-RCS utilizează un terminal satelit RCST (*Return Channel Satellite Terminal*) ce asigură suport serviciilor multimedia interactive.

La nivel de strat control al accesului la mediul de transmisie (MAC), în sistemele DVB-RCS este implementată tehnica FDM/TDM (*Frequency Division Multiplexing/Time Division Multiplexing*). Transmisiile pe canal ascendent și descendent se fac pe canale (purtoare) diferite. Atât canalul ascendent cât și cel descendent sunt partajate în timp. Specificațiile MAC permit implementarea unor mecanisme diferite de suport QoS. Debitul maxim atins în cadrul sistemelor DVB-RCS, funcție de dimensiunea antenei de la sol, au valorile indicate în Tabelul 3.1.

Debitul pe canal ascendent în standard DVB-RCS în funcție de diametrul antenei de la sol			
Dimensiunea antenei	0.6 m	1.0 m	1.2 m
Debitul pe canal ascendent	150 kbps	380 kbps	2 Mbps
Debitul pe canal descendent	38 Mbps	38 Mbps	38 Mbps

Tabelul 3.1 Debitul maxim atins în cadrul sistemelor DVB-RCS

3.3.2 Arhitectura sistemelor satelitare

Sistemele satelitare ce implementează standardul DVB includ două modele de canal [ETSI EN192]: canal de difuziune (*broadcast channel*) și canal de interacțiune (*interaction channel*).

Canalul de difuziune, care este un canal unidirecțional descendent, este identic cu cel definit în standardul DVB. Canalul de interacțiune asigură un traseu de comunicație bidirecțională între furnizorul de servicii și utilizatorul final. Canalul de interacțiune este alcătuit din:

- (1) canal interactiv de transmisie (*forward interaction channel*), dinspre furnizorul de servicii către utilizatorul final și
- (2) canal interactiv de întoarcere (*return interaction channel*), dinspre utilizatorul final către furnizorul de servicii.

Terminalul satelit RCST are interfețe atât către canalul de difuziune cât și către canalul de interacțiune. O rețea satelitară interactivă conținând câteva terminale de tip RCST este ilustrată în Figura 3.1.

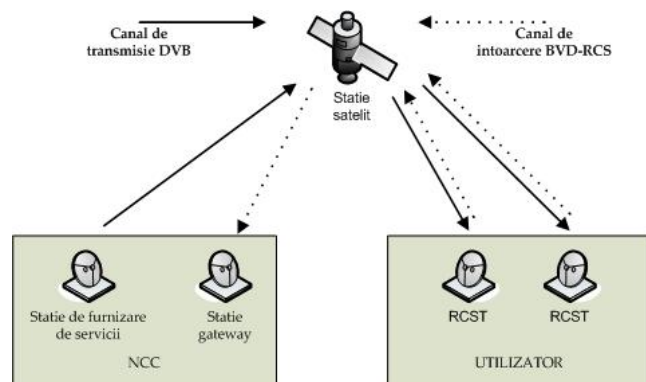


Figura 3.1 Arhitectura interactivă a rețelei satelitare

Subsistemul centrul de control al rețelei NCC (*Network Control Center*) monitorizează și controlează activitatea rețelei interactive satelitare. Subsistemul NCC gestionează resursele rețelei, autorizează și alocă resurse terminalelor RCST. La nivelul subsistemului NCC operează două categorii de stații:

- (1) stații de furnizare de servicii (*feeder stations*) și
- (2) stații gateway (*gateway stations*).

Pe canalul de transmisie (dinspre NCC către RCST) sunt multiplexate datele utilizator, informația de control și semnalizările (canal standard specific sistemelor DVB). Aceste date sunt transmise prin intermediul stației de furnizare de servicii (*feeder station*).

Stația gateway (*gateway station*) recepționează semnale de la terminalele RCST pe canalul de întoarcere și realizează funcțiile de interconectare cu furnizorii de servicii. Pe canalul de transmisie sunt multiplexate atât informațiile de semnalizare de la subsistemul NCC cât și traficul utilizator către terminalul RCST, în timp ce pe canalul de întoarcere sunt transmise doar informațiile de semnalizare în vederea interconectărilor și menținerii sesiunilor.

Observații

1. *Canalul de interacțiune este specific doar sistemelor DVB-RCS, sistemele **DVB** oferind doar un canal de difuziune unidirecțional. Prin intermediul canalului de interacțiune bidirecțional, la nivelul terminalelor de tip RCST, poate fi asigurată furnizarea de servicii multimedia interactive.*
2. *Stațiile de furnizare a serviciilor transmit multiplexat informație utilă și de control, în timp ce stațiile gateway recepționează numai informații de management al sesiunilor și interconectărilor.*
3. *De cele mai multe ori, în sistemele DVB-RCS canalul de interacțiune este inclus în canalul de difuziune.*

3.3.3 Canalul de transmisie/canalul de broadcast (Forward Channel/Broadcast Channel)

Canalul de transmisie (*forward channel*) sau canalul de difuziune (*broadcast channel*) respectă recomandările standardului DVB.

Pe canalul de transmisie, informația este multiplexată în fluxuri de transport TS (*Transport Stream*) în format MPEG-2. Fluxurile de date transmise sunt împărțite în câteva categorii de aplicații, după cum urmează:

- (1) *DVB data piping* - mecanism asincron de transmisie a datelor, asemeni transmiterii pachetelor IP; datele sunt inserate direct în debitul util MPEG-2 fără a fi fragmentate și apoi reasamblate.
- (2) *DVB data streaming* - mecanism de transmitere specific aplicațiilor bazate pe fluxuri de date. Fluxurile de date pot fi asincrone (datele sunt transmise independent de un ceas de transmisie), sincrone (datele sunt transmise având un ceas de transmisie), sau sincronizabile (datele sunt transmise cu dependențe temporale față de alte tipuri de date, de exemplu secvențele video împreună cu secvențele audio asociate).
- (3) *DVB multiprotocol encapsulation* - mecanism utilizat în transportul pachetelor generate de protocoale de strat superior fluxurilor de transport MPEG-2 din rețelele DVB; este optimizat livrării pachetelor IP; traficul UDP/IP sau TCP/IP este multiplexat în fluxuri de transport MPEG-2 prin intermediul entității DSM-CC.

- (4) *DVB data/object carousel* - mecanism ce permite prezentarea de către un server a unui set de pachete prin repetarea ciclică a conținutului o dată sau de mai multe ori (sistemul teletext).

Funcție de tipul aplicațiilor și funcție de cerințele QoS, fluxurile de date sunt împărțite în câteva categorii. Unele fluxuri de date (*DVB data piping* și *DVB data streaming*) sunt încapsulate direct în format MPEG-2, în timp ce alte fluxuri de date (*DVB multiprotocol encapsulation*, *DVB data carousel*, *DVB object carousel*) sunt mapate inițial de către entitatea DSM-CC (**D**ata **S**torage **M**edia – **C**ommand and **C**ontrol) și apoi încapsulate în format MPEG-2.

3.3.4 Împachetarea datelor în format MPEG-2 TS conform standardului DVB

MPEG-2 TS este formatul de transport al fluxurilor de date pentru transmisiile video/audio. Codorul video/audio comprimă semnalul video/audio și sunt construite blocuri video/audio corespunzătoare.

Fiecare cadru audio/video include un antet element de flux ES (*Element Stream*) și o serie blocuri codate audio/video.

Antetul ES indică conținutul și locația fiecărui bloc video/audio dintr-un cadru, informații necesare procesului de decodare. Un astfel de cadru poartă numele de cadru ES.

Cadrele ES sunt împachetate și formează un element de flux împachetat PES (*Packetized Element Stream*) numit pachet PES. Antetul PES deține informațiile necesare decodării fluxurilor video/audio. Dintre informațiile incluse în antetul PES, menționăm:

- (1) amprenta temporală a decodării DTS (*Decode Time Stamp*) ce indică momentul de timp la care să se realizeze decodarea cadrului video/audio și
- (2) amprenta temporală a prezentării PTS (*Presentation Time Stamp*) ce indică momentul de timp la care să se realizeze prezentarea cadrelor video/audio.

Observații

1. *MPEG-2 TS (TS, Transport Stream) reprezintă formatul de transport al datelor video/audio în cadrul sistemelor satelitare ce respectă standardul DVB.*
2. *Succesiunea procesării datelor pe canal descendent include următoarele structuri: (1) blocuri codate, (2) cadre ES, (3) pachete PSE, (4) pachete TS.*

În cadrul pachetelor TS identificatorul de pachet PID (*Packet ID*) specifică conținutul util în cadrul pachetului. Lista identificatorilor de pachet PID și valorile asociate acestora sunt incluse într-o tabelă de informație specifică programului PSI (*Program Specific Information*).

În cadrul fluxului de transport MPEG-2, există programe multiple. Fiecare program conține fluxuri video, fluxuri audio și fluxuri de date. Tabela PSI asigură furnizarea identificatorilor de pachet PID necesari localizării, identificării și refacerii fluxului video/audio dintre pachetele fluxului de transport.

3.3.5 Canalul de întoarcere (Return Channel)

Canalul de întoarcere transportă date de la terminalele RCST către stațiile satelit. Structura canalului de întoarcere este compusă din :

- (1) supercadre (*superframes*);
- (2) cadre (*frames*);
- (3) sloturi temporale (*time slots*).

Un supercadru reprezintă un interval de timp alocat pe o anumită frecvență. Un supercadru este alcătuit din mai multe cadre și mai multe sloturi temporale alcătuiesc un cadru.

Elementele de identificare ale unui supercadru, cadru sau slot temporal, din structura unui sistem satelitar, sunt indicate în diferite entități: tabelă SCT (*Superframe Composition Table*), tabelă FCT (*Frame Composition Table*) și tabelă TSCT (*Time Slot Composition Table*).

Toate transmisiile terminalelor RCST sunt controlate și coordonate de către NCC. Înainte ca terminalul RCST să poată transmite date, este necesar accesul acestuia în rețea și informarea entității NCC cu privire la configurația sa. Procedura de acces în rețea se face pe frecvența indicată de NCC pe canalul de transmisie.

Canalul de întoarcere suportă patru categorii de date:

- (1) trafic (TRF) – utilizat pentru transmiterea datelor de la terminalul RCST către stația gateway ;
- (2) achiziție (ACQ) – utilizat pentru poziționarea transmisiilor RCST în timpul și după procedura de acces în rețea ;
- (3) sincronizare (SYNC) – utilizat pentru sincronizarea terminalului RCST și transmiterea informațiilor de control în sistem. ;
- (4) canal comun de sincronizare (CSC) – utilizat pentru identificarea terminalelor RCST din sistem pe durata procedurii de acces cât și pentru obținerea altor informații de stabilire a comunicației, cum ar fi determinarea frecvențelor sistemului.

3.3.6 Accesul pe canalul de întoarcere

Datorită transmisiilor de tip multipunct-la-punct (specifice sistemelor satelitare DVB), terminalele RCST implementează un mecanism de acces la mediul de transmisie bazat pe tehnica de acces multiplu multi-frecvență cu divizare a timpului MF-TDMA (*MultiFrequency – Time Division Multiple Access*).

Tehnica de acces MF-TDMA este o combinație a tehnicilor de acces FDMA și TDMA. În cadrul fiecărui supercadru, NCC difuzează planul temporal al salvelor terminal TBTP (*Terminal Burst Time Plan*) ce indică frecvența, capacitatea de transfer, momentul de start și durata în care îi este permisă transmiterea datelor pentru fiecare din terminalele RCST atașate.

Există două variante ale schemei de acces MF-TDMA:

- (1) MF-TDMA cu asignare fixă a sloturilor (*fixed-slot MF-TDMA*) - debitul și durata sloturilor temporale alocate unui terminal RCST este fixă.
- (2) MF-TDMA cu asignare dinamică a sloturilor (*dynamic-slot MF-TDMA*) - debitul și durata sloturilor temporale alocate unui terminal RCST este variabilă (metodă de acces opțională în sistemele DVB).

Asignarea resurselor (canalului radio) are la bază solicitările de resurse ale aplicației și cerințele QoS. Procesul de alocare al canalului este realizat în urma unui mecanism de solicitare-garantare a resurselor, proces în care terminalul RCST solicită resurse iar entitatea NCC garantează alocarea resurselor solicitate.

Standardul DVB-S definește două modalități de alocare a resurselor, prin:

- (1) definirea cerințelor specifice de alocare a resurselor și
- (2) specificarea metodelor de semnalizare.

Fiecare aplicație, la nivelul terminalului RCST, solicită alocarea de resurse în mod individual [Gan03]. Solicitățile de alocare a capacității de transfer per-conexiune pot fi împărțite în următoarele categorii:

- (1) cerințe de alocare a unui debit constant CRA (*Continuous Rate Assignment*) – indică solicitările de alocare fixă minimă a unei capacități de transfer per supercadru; cerințele CRA sunt potrivite aplicațiilor ce necesită un debit fix minim garantat având întârzieri și variații ale întârzierilor minime, cum sunt aplicațiile de tip CBR (*Constant Bit Rate*);
- (2) cerințe de alocare a unui debit variabil RBDC (*Rate-Based Dynamic Capacity*) – indică solicitările de alocare dinamică peste valoarea minimă necesară a unei capacități de transfer per supercadru; cerințele RBDC sunt potrivite aplicațiilor de tip VBR (*Variable Bit Rate*);
- (3) cerințe de alocare a unei capacități de transfer dinamice per volum VBDC (*Volume-Based Dynamic Capacity*) - indică solicitările de alocare a unei capacități de transfer dinamice per volum; după transmiterea fiecărui cadru, capacitatea de transfer este cumulată și dedusă din capacitatea de transfer deja alocată supercadruului curent; cerințele VBDC sunt potrivite aplicațiilor tolerante la întârzieri;
- (4) cerințe de alocare a unei capacități de transfer dinamice absolute per volum AVBDC (*Absolute Volume-Based Dynamic Capacity*) – cerințele AVBDC sunt similare cu cerințele VBDC, cu diferența că cerințele AVBDC nu sunt cumulative; cerințele AVBDC indică valoarea absolută a volumului de transfer; cerințele AVBDC sunt potrivite cazului în care cerințele VBDC nu pot fi satisfăcute în cazul procesului de solicitare;
- (5) cerințe de alocare a capacității de transfer disponibile FCA (*Free Capacity Assignment*) – cerințele FCA nu sunt asociate nici unei categorii de trafic; capacitatea de transfer disponibilă este utilizată în vederea reducerii întârzierilor de trafic.

Standardul DVB-S definește următoarele metode de semnalizare ce pot fi utilizate în vederea solicitării unei capacități de transfer:

- (1) câmpul SAC (*Satellite Access Control*) - metoda utilizează câmpul opțional SAC în momentul transmiterii unui pachet de sincronizare SYNC; acest câmp include cerințele de alocare a unei capacități de transfer pentru o anumită conexiune; pachetul SYNC poate fi utilizat într-un mediu cu disputare în care mai multe terminale RCST transmit pachete de tip SYNC în același timp;
- (2) metoda DUL (*Data Unit Labeling*) – metoda DUL permite terminalelor RCST transmiterea unor informații de management și control către entitatea NCC intercalat cu pachetele de date transmise.
- (3) metoda mini-slot – metoda se bazează pe alocarea în mod periodic a unei părți dintr-un interval temporal alocat în prealabil transferului de date pentru terminalele RCST care au accesat resursele rețelei; în acest interval temporal sunt inserate informații de management și control; este utilizat de asemenea pentru menținerea sincronizării;
- (4) metoda mini-slot cu disputare (*contention-based mini-slot*) – metoda poate fi aplicată pentru cazul în care mai multe terminale RCST dispută accesarea unui mini-slot.

3.3.7 Suportul QoS în rețele satelitare

Standardul DVB-S definește câteva mecanisme de bază în vederea suportului QoS și anume: clasificarea, accesul la canal și semnalizarea solicitărilor de alocare a resurselor (capacității de transfer).

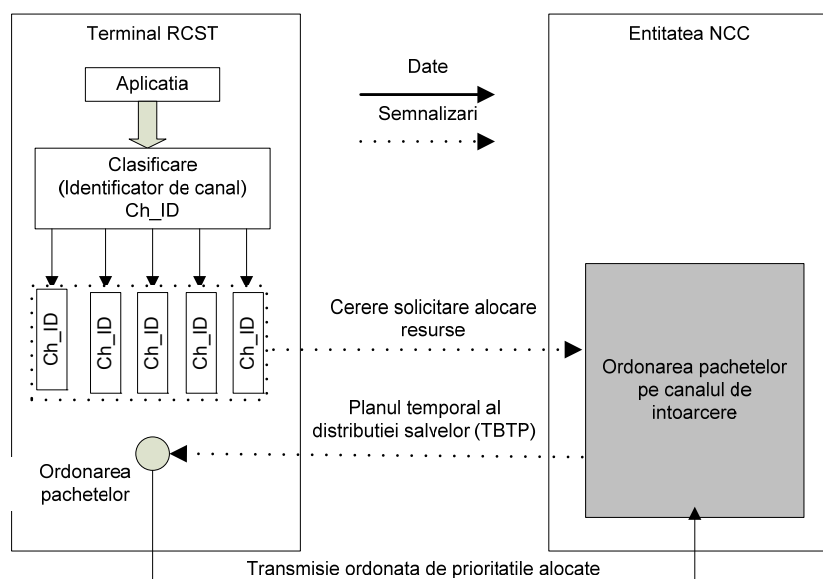


Figura 3.2 Arhitectura QoS în cazul sistemului DVB-RCS

3.3.7.1 Clasificarea

Înainte ca pachetele să fie transmise de către terminalul RCST, este necesară stabilirea unei conexiuni între aplicație și entitatea NCC. Fiecare aplicație este identificată în mod unic printr-un identificator de canal **Ch_ID** (*Channel ID*).

Sistemul DVB-RCS folosește un mecanism de clasificare per-flux ceea ce permite asigurarea de servicii QoS per-flux. Semnalizările au rolul de a iniția, modifica și încheia sesiunile.

3.3.7.2 Semnalizarea solicitărilor de alocare a resurselor și accesul la canal

Așa cum am văzut în paragraful anterior, standardul DVB-S definește cerințe specifice de alocare a resurselor și metode de semnalizare. Fiecare categorie a cerințelor de alocare a resurselor este per conexiune și suportă diferite tipuri de aplicații având solicitări QoS diferite [Ek102].

Pe canalul de întoarcere, sistemul DVB-S implementează tehnica de acces MF-TDMA. Fiecărui terminal RCST îi este permisă transmiterea pachetelor pe o anumită frecvență și pentru un anumit interval de timp conform planului temporal al salvelor terminal, TBTP.

Tabela TBTP este transmisă de entitatea NCC către terminalul RCST în fiecare supercadru. Prin intermediul tabelii TBTP este posibilă alocarea dinamică a resurselor și totodată suportul QoS pentru fiecare aplicație.

Conținutul tabelii TBTP este determinat de algoritmul de ordonare al pachetelor și este funcție de cerințele QoS și totodată de resursele disponibile ale sistemului.

3.4 QoS în rețelele wireless metropolitane în standard IEEE 802.16

Standardul IEEE 802.16 a fost proiectat ținându-se cont de faptul că o rețea metropolitană poate conține sute sau chiar mii de abonați cu cerințe de bandă largă. La nivel de strat MAC avem o topologie de tip punct-la-multipunct PTM (*Point-To-Multipoint*), cu o stație de bază BS (*Base Station*) și mai multe stații abonat SSs (*Subscriber Stations*).

Datorită benzii de frecvență în care operează standardul (10-60 GHz), se impune vizibilitate directă LoS (*Line of Sight*) între elementele arhitecturii (SS și BS). Toate conexiunile sunt realizate prin stația de bază, fără a avea legături directe între stațiile de abonat [IEEE.16.02].

Pentru banda de frecvențe 2-11 GHz nu este necesară vizibilitate directă între elementele arhitecturii, fiind posibile topologii de tip plasă (*mesh*). Pentru aceste arhitecturi topologice nu este necesară realizarea conexiunilor prin stația de bază [IEEE.16.02a].

3.4.1 Arhitectura standardului IEEE 802.16

Standardul definește două straturi: stratul fizic PHY (*PHYsical layer*) și stratul de control al accesului la mediu MAC (*Media Access Control layer*). Stratul MAC este divizat în trei substraturi: substratul de convergență specific serviciului CS (*Service Specific Convergence Sublayer*), substratul parte comună MAC CPS (*MAC Common Part Sublayer*) și substratul securitate (*Security Sublayer*).

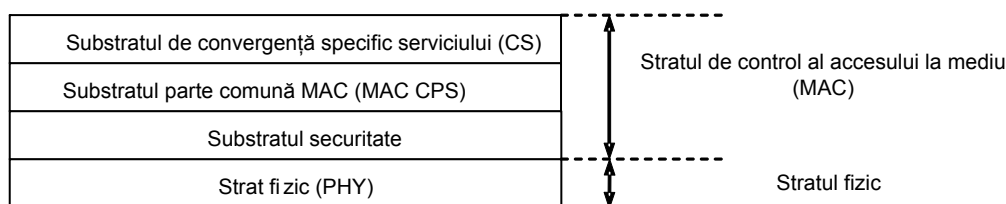


Figura 3.3 Straturile PHY și MAC în standard IEEE 802.16

3.4.2 Stratul fizic

IEEE 802.16 definește stratul fizic pentru banda de frecvență 10-60 GHz în condițiile unei vizibilități directe între stația de bază și stația abonat. Datele sunt transmise modulat pe o singură purtătoare. Lățimea de bandă a canalelor utilizate este de 28 MHz în Europa, respectiv 20/25 MHz în Statele Unite. Pentru o lățime de bandă a canalului de 28 MHz se poate atinge un debit de 134 Mbps.

Pentru canale având lățimea de bandă 20/25 MHz, debitul atins este de 96/120 Mbps. De asemenea standardul prevede posibilitatea utilizării antenelor directive în vederea creșterii capacității sistemului și reducerea interferenței transmisiilor adiacente.

Traseul de comunicare dintre stația de abonat și stația de bază are două direcții: ascendent (*uplink*), de la stația de abonat (SS) către stația de bază (BS) și descendent (*downlink*), de la stația de bază (BS) către stația de abonat (SS).

Traseul ascendent cât și cel descendent pot opera pe frecvențe diferite folosind tehnica de duplexare prin divizare în frecvență FDD (*Frequency Division Duplexing*) fie partajând aceeași frecvență prin utilizarea tehnicii de duplexare prin divizare în timp TDD (*Time Division Duplexing*).

Atât în sistemele ce utilizează tehnica FDD cât și în cele ce folosesc tehnica TDD, informația este împărțită în cadre. În cazul TDD, cadrul este împărțit în două subcadre: subcadru ascendent (*uplink subframe*) și subcadru descendent (*downlink subframe*). Subcadru ascendent urmează subcadru descendent.

În cazul FDD, subcadru ascendent și cel descendent sunt simultane în timp dar transmise pe frecvențe diferite. Fiecare subcadru este alcătuit dintr-un număr de intervale temporale (*time slots*). Toate stațiile de abonat (*SSs*) și stația de bază (*BS*) trebuie sincronizate pentru a transmite datele în sloturile temporale corespunzător alocate.

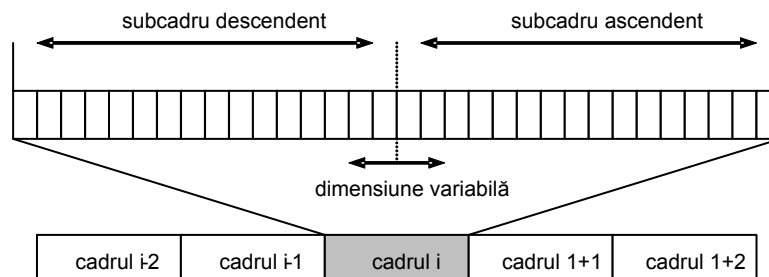


Figura 3.4 Structura cadrelor în sisteme ce utilizează tehnica TDD

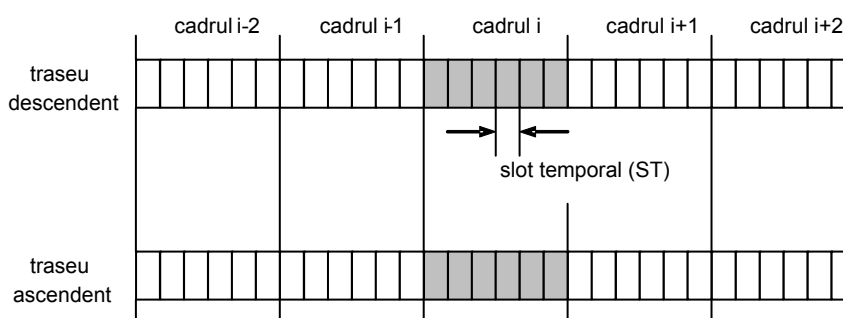


Figura 3.5 Structura cadrelor în sisteme ce utilizează tehnica FDD

Standardul permite legături full-duplex (recepție și transmisie simultană) cât și legături half-duplex (recepție sau emisie). În sistemele FDD alocarea sloturilor temporale este diferită pentru stațiile de abonat full-duplex sau half-duplex.

Pentru legături half-duplex ale stațiilor de abonat, stația de bază nu poate alocă un interval al subcadru ascendent care se suprapune peste intervalul subcadru descendent. În sistemele TDD, deoarece nu avem intervale de suprapunere a canalelor alocate, legăturile de abonat simplex sau duplex pot avea alocate aceleași sloturi temporale.

3.4.2.1 Profilul adaptiv al salvelor de date

Standardul suportă profile adaptive ale salvelor de date ale căror parametri de transmisie (modulație, setări ale codorului) pot fi modificate pentru fiecare stație de abonat în parte și pentru fiecare cadru transmis, atât în sens ascendent cât și în sens descendent. Standardul prevede trei tipuri de scheme de modulare: QPSK, 16 QAM și 64 QAM.

Profilul salvelor de date, cel care include tipul de modulație și blocul de codare FEC (*Forward Error Correction*), este identificat printr-un cod numit IUC (*Interval Usage Code*).

Există două tipuri de astfel de coduri:

- (1) DIUC (**Downlink Interval Usage Code**), cod ce identifică profilul salvei în sens descendent și
- (2) UIUC (**Uplink Interval Usage Code**), cod ce identifică profilul salvei în sens ascendent.

Aceste coduri sunt incluse în mesaje MAC corespunzătoare numite DCD (**Downlink Channel Descriptor**) pentru traseul descendent, respectiv UCD (**Uplink Channel Descriptor**) pentru traseul ascendent.

Mesajele DCD și UCD sunt transmise periodic de către stația de bază în vederea definirii caracteristicilor de canal pe traseul ascendent, respectiv descendent.

Observații

1. Datorită arhitecturii punct-la-multipunct, stația de bază transmite un semnal multiplexat în timp, stațiilor abonat fiindu-le alocate sloturi temporale succesive TDM. Pe traseul ascendent avem un acces de tip TDMA.
2. Specificațiile la nivel de strat fizic definesc un profil adaptiv al salvelor de date în care parametrii transmisiei, incluzând aici modulația și schemele de codare, pot fi ajustați în mod individual pentru fiecare stație abonat la nivelul fiecărui cadru.
3. Datele pe canal descendent sunt transmise fiecărui utilizator conform profilului negociat al salvei.
4. Sincronizarea pe canal ascendent este mult mai critică deoarece mai multe stații accesează canalul, în timp ce pe canal descendent doar stația de bază transmite.
5. Pe durata intervalelor Initial Maintenance și Request Contention Opportunities pot să apară coliziuni datorită accesării simultane a canalului de către mai multe stații abonat. În acest caz, stațiile abonat vor intra într-un proces de disputare.
6. Un element de informare (IE, Information Element) este o componentă a mesajului UL-MAP/DL-MAP (mesaje de alocare/caracterizare a resurselor alocate pe traseu ascendent/descendent) ce definește adresa de început asociată unui cod de identificare al profilului salvei ce poate fi folosit în intervalul de transmisie pe canal ascendent/descendent (IUC, Interval Usage Code).
7. Fiecare IE conține următoarele trei câmpuri: (a) identificator de conexiune (CID, Connection Identifier); (b) cod de identificare a profilului salvei pe canal ascendent/descendent pe un anumit interval de transmisie (UIUC/DIUC, Uplink/Downlink Interval Usage Code), (c) offset.

3.4.3 *Stratul de control al accesului la mediu (MAC, Media Access Control)*

Substratul de convergență specific serviciului (CS) convertește datele de intrare, recepționate prin punctul de acces la servicii CS SAP (**Convergence Sublayer Service Access Point**), în datagrame specifice stratului MAC, realizând activarea QoS și permițând alocarea debitelor de transmisie.

Această transformare mapează informația recepționată în format specific IEEE 802.16, cum ar fi specificarea identificatorilor de flux și de conexiune. Versiunea curentă a standardului detaliază două substraturi CS de mapare a informației: Packet CS (pachete IPv4, IPv6, Ethernet) și ATM CS (celule ATM).

Substratul parte comună MAC CPS asigură controlul accesului, alocarea debitelor, stabilirea și menținerea conexiunilor.

Substratul securitate asigură securitatea serviciilor incluzând proceduri de autentificare, schimbare a cheii și criptare.

3.4.3.1 Controlul accesului la mediu

Stratul MAC (*Media Access Control*) IEEE 802.16 este unul orientat pe conexiune. Astfel, solicitarea resurselor se poate face pentru fiecare conexiune, parametrii de trafic (parametrii QoS) caracterizând fiecare conexiune în parte.

Standardul permite ca alocarea resurselor (de exemplu, alocarea unui anumit debit) pentru aceste conexiuni să fie asigurată în mod continuu pe toată durata conexiunii sau în urma unor solicitări la cerere.

Fiecare conexiune este asociată unui așa numit serviciu de trafic SF (*Service Flow*). Acest serviciu la nivel de strat MAC asigură transportul unidirecțional al pachetelor în cadrul unei conexiuni.

Conceptul de serviciu de trafic este unul de bază în sistemele 802.16 deoarece definește mecanismele de rezervare și alocare a resurselor, parametrii QoS. Un serviciu de trafic este caracterizat de un set de parametri QoS (întârzieri, jitter și debit garantat) asociați pachetelor transmise în cadrul unei conexiuni.

Concluzionând, putem spune că un serviciu de trafic reprezintă un transfer unidirecțional de cadre MAC al unei conexiuni pentru care este asigurat un anumit nivel QoS.

Fiecare conexiune în cadrul standardului IEEE 802.16 are un identificator de conexiune CID (*Connection Identifier*) căruia îi este asignat un identificator de serviciu de trafic SFID (*Service Flow Identifier*) ce definește parametri QoS ai serviciului de trafic asociați conexiunii.

La nivelul stratului MAC sunt rezervați câțiva identificatori de conexiune (*CID*) în vederea identificării unor fluxuri de tip difuziune, management și întreținere a conexiunilor. Odată stabilită, o conexiune presupune o întreținere activă a acesteia funcție de tipul de serviciu rulat.

3.4.3.2 Accesul la canal

După cum a fost prezentată și într-un paragraf anterior, calea de comunicare dintre două entități ce implementează standardul IEEE 802.16 are două trasee, un traseu ascendent și un traseu descendent.

1. Pe traseul ascendent (de la SS către BS), mai mulți utilizatori partajează canalul folosind tehnica TDMA. Pentru furnizarea unui canal de acces la mediu, stația de bază (*BS*) transmite un mesaj de tip UL-MAP (*UpLink MAP*). Acest mesaj, transmis la începutul unui cadru, definește unei stații abonat atât accesul la canal cât și profilul salvelor de date în sens ascendent din subcadrul ascendent. Stației abonat (*SS*) îi este permisă transmiterea salvelor de date doar în intervalul temporal stabilit, indicat în UL-MAP.

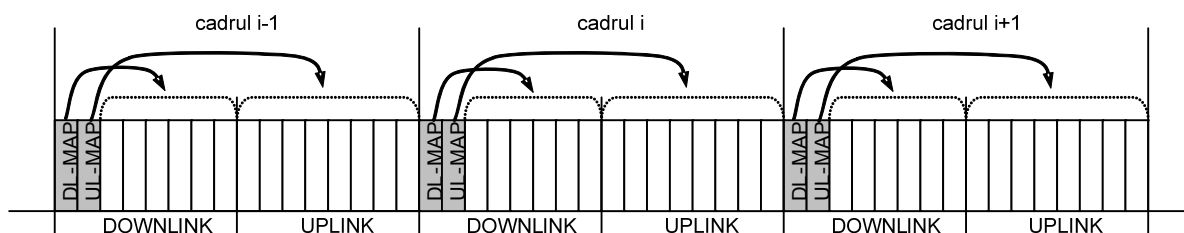


Figura 3.6 Transmiterea informației în sisteme IEEE 802.16 ce utilizează tehnica TDD

2. Pe traseul descendent (de la BS la SS), datorită faptului că doar stația de bază (BS) este cea care transmite date, accesul la canal este mult simplificat. Pachetele de date sunt transmise de către stația de bază (BS) către toate stațiile abonat (SSs), fiecare stație abonat selectând doar pachete care îi sunt destinate. Mesajul DL-MAP (*DownLink MAP*), transmis de stația de bază, este utilizat pentru a defini profilul salvelor de date în sens descendent pe fiecare slot temporal din subcadru descendent curent, atât în sisteme TDD cât și în sisteme FDD.

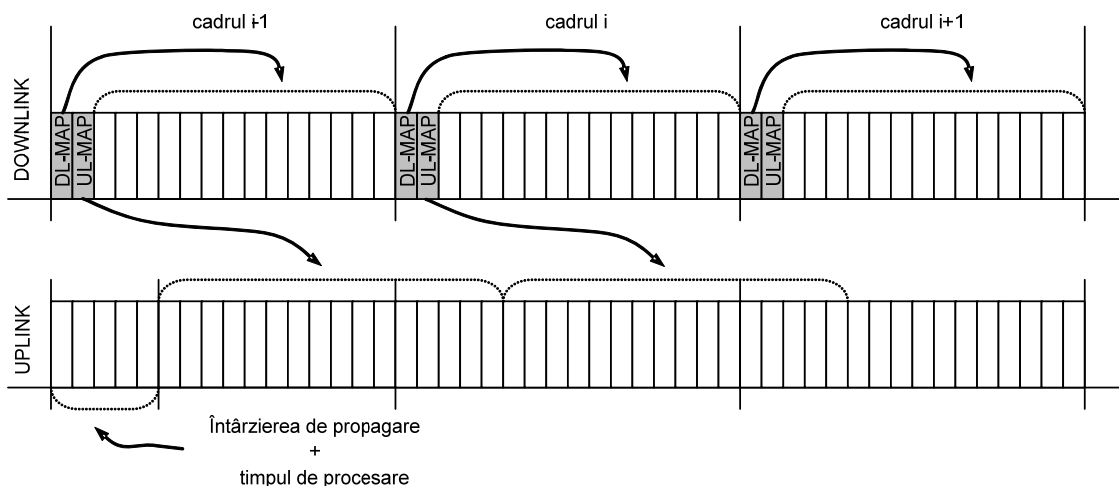


Figura 3.7 Transmiterea informației în sisteme 802.16 ce utilizează tehnica FDD

Mesajele UL-MAP și DL-MAP sunt transmise de către stația de bază (BS), pe traseul descendent, către stațiile abonat. UL-MAP cât și DL-MAP indică începutul transmisiei în slotul temporal corespunzător fiecărei salve de date.

De asemenea se definește IUC (*Interval Usage Code*) un cod unic de identificare al profilului unei salve mapate în intervalul de transmisie temporal ascendent UIUC (*Uplink IUC*) sau descendent DIUC (*Downlink IUC*).

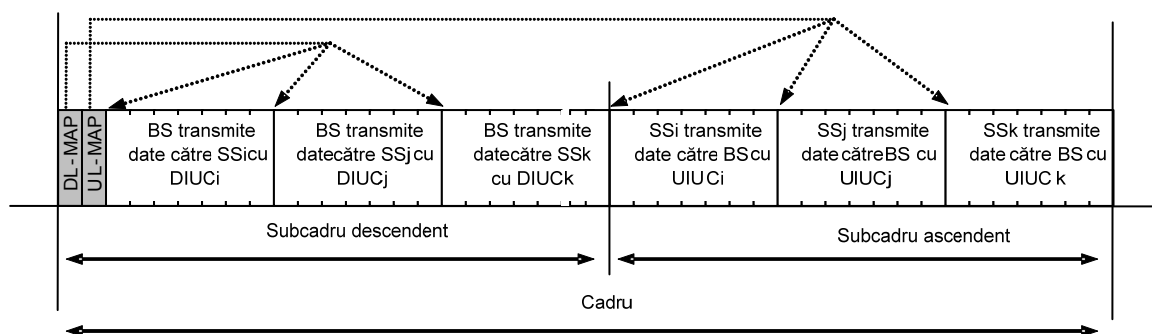


Figura 3.8 Mesajele DL-MAP și UL-MAP indicând începutul transmisiei fiecărei salve

3.4.4 Suportul QoS în rețele IEEE 802.16

3.4.4.1 Mecanismele de solicitare și de alocare a resurselor

Atunci când ne referim la solicitarea și alocarea resurselor ne gândim în primul rând la solicitarea și ocuparea/încărcarea unei cantități din capacitatea canalului (*bandwidth*) de către o stație abonată.

Mecanismele de solicitare și de alocare a resurselor reprezintă posibilitatea unei stații abonate de a transmite pe canal (*transmission opportunities*) în condițiile negociate cu stația de bază.

Standardul definește diferite mecanisme prin care stația abonată accesează canalul ascendent și solicită alocare de resurse și totodată definește mecanismele prin care stația de bază garantează aceste solicitări.

Mecanismele de solicitare a resurselor și cele de garantare a resurselor alocate permit rularea unor tipuri diferite de aplicații având cerințe QoS diferite. Sintetizând, putem spune că resursa negociată și alocată stației abonate va fi gradul de ocupare/încărcare a canalului.

3.4.4.2 Mecanismul de solicitare a resurselor

Orice conexiune solicită alocarea unei anumite capacități a canalului de transmisie (*bandwidth*). Solicitarea resurselor se face prin intermediul unui mesaj de tip *BW Request* transmis de către stația abonată către stația de bază.

Cererile de rezervare a resurselor (*BW Request*) pot fi transmise printr-un pachet dedicat (*stand-alone*), sau inserate (*piggyback*) într-un alt pachet.

Există două categorii de cereri prin care stația abonată (SS) poate solicita alocarea de noi resurse:

- (1) cerere de incrementare a unei capacități de transfer curente (*incremental bandwidth request*) și
- (2) cerere de realocare a unei capacități de transfer suplimentare (*aggregate bandwidth request*).

Dacă stația de bază (BS) recepționează o cerere de incrementare a unei capacități de transfer curente, capacitatea de transfer solicitată este adăugată la cea curentă alocată. Dacă stația de bază (BS) recepționează o cerere de realocare a unei capacități de transfer suplimentare, capacitatea de transfer curentă este înlocuită cu cea solicitată.

Prin intermediul unei cereri inserată într-un pachet poate fi solicitată doar incrementarea capacității de transfer. Transmițând un pachet dedicat solicitării de rezervare, poate fi solicitată atât incrementarea cât și realocarea capacității de transfer.

Solicitarea resurselor poate fi inițiată la stabilirea conexiunii sau ca și răspuns la recepționarea unui mesaj de interogare din partea stației de bază. Pe durata subcadrului ascendent se pot distinge două categorii de cereri de rezervare a resurselor (*BW Request*), funcție de tipul intervalului pe care se fac solicitările.

Astfel, cererile pot fi emise pe durata intervalului de solicitare a unor oportunități de transmisie cu disputare (UIUC=1, *Contention Request Opportunities*), interval în care orice stație poate transmite solicitări.

Totodată, cererile pot fi emise folosind sloturi temporale predefinite indicate de către elementul de informare IE (*Information Element*) sau inserate în alte pachete, fără disputarea oportunităților de transmisie (*Contention-Free Request Opportunities*).

Un element de informare IE (*Information Element*) este o componentă a mesajului UL-MAP/DL-MAP (mesaje de descriere a resurselor alocate pe traseu ascendent/descendent) ce definește adresa de început asociată unui cod de identificare al profilului salvei ce poate fi folosit în intervalul de transmisie pe canal ascendent/descendent IUC (*Interval Usage Code*).

Fiecare IE conține cel puțin următoarele trei câmpuri:

- (1) identificator de conexiune CID (*Connection IDentifier*);
- (2) cod de identificare al profilului salvei pe canal ascendent/descendent pe un anumit interval de transmisie UIUC/DIUC (*Uplink/Downlink Interval Usage Code*);
- (3) offset.

Mecanismul de interogare, inițiat și gestionat de stația de bază (**BS**), încarcă rețeaua cu trafic redundant, stația de bază transmițând în mod unicast, multicast sau broadcast mesaje de interogare către stațiile abonat.

Procesul de interogare nu include transmiterea unui pachet anume către stația abonat (**SS**). Mai exact, stației abonat îi sunt alocate resursele inițiale pentru o eventuală transmisie pe canal ascendent. Standardul prevede și posibilitatea de interogare în grup sau per ansamblu a stațiilor atunci când nu sunt suficiente resurse pentru interogarea individuală a stațiilor abonat sau atunci când sunt numeroase stații abonat inactive.

În acest sens sunt rezervați câțiva identificatori de conexiune (*CIDs*) pentru interogări de tip multicast sau broadcast. Stațiile abonat astfel interogate își vor disputa cererile de transmisie pe durata corespunzătoare din intervalul ascendent.

3.4.4.3 Mecanismul de alocare a resurselor

Fiecare stație abonat (**SS**) solicită resurse în momentul în care accesează sistemul. Stația de bază (**BS**) va garanta/aloca resurse folosind una din cele două modalități:

- (1) garantarea resurselor per stație abonat GPSS (*Grant Per Subscriber Station*);
- (2) garantarea resurselor per conexiune GPC (*Grant Per Connection*).

În mod GPSS, stația de bază alocă resurse în mod individual fiecărei stații abonat. În acest caz stația abonat este responsabilă de gestionarea resurselor, ținând cont de necesitățile traficului și de cerințele QoS ale fiecărei conexiuni pe care o stabilește. Pentru domeniul de frecvențe 11-66 GHz standardul acceptă stații abonat în mod GPSS. În mod GPC, stația de bază alocă resurse în mod individual fiecărei conexiuni (*CID*).

Stația de bază alocă resurse ținând cont de următoarele aspecte: capacitatea de transfer solicitată, parametrii QoS necesari aplicației, resursele disponibile ale rețelei. Stația de bază poate aloca resurse pentru conexiuni multiple la nivel de stație de abonat, fiecare aplicație având un nivel QoS diferit.

3.4.4.4 Ordonarea serviciilor de trafic

Standardul IEEE 802.16 definește patru tipuri de servicii de trafic (*service flow*) ce asigură suportul QoS pentru o varietate extinsă de aplicații. Sunt incluse următoarele categorii de servicii:

- (1) servicii garantate fără solicitare UGS (*Unsolicited Grant Service*);
- (2) servicii de tip “real-time” cu interogare rtPS (*real-time Polling Service*);
- (3) servicii de tip “non-real-time” cu interogare nrtPS (*non-real-time Polling Service*);
- (4) servicii de tip BE (*Best Effort*).

Serviciile garantate fără solicitare suportă fluxuri de servicii care generează pachete de dimensiuni fixe, trafic constant. Această categorie de servicii garantează alocarea unor resurse fixe ce satisfac cerințele fluxurilor respective. În cazul acestui tip de serviciu nu există cereri de solicitare a unor oportunități de transmisie cu disputare (servicii garantate fără solicitare). Elementul de informare (*IE*) al serviciilor (de trafic) garantate fără solicitare include următorii parametri: capacitatea de transfer alocată, dimensiunea garantată a intervalului de transmisie, valoarea garantată a jitter-ului și politicile de interogare/transfer.

Stația abonat transmite stației de bază informații legate de starea serviciului de trafic de tip UGS folosind un câmp special din antetul pachetului numit indicator de eroare SI (*Slip Indicator*). Acest indicator este folosit în cazul în care este depășită dimensiunea buffer-ului de transfer ca urmare a pierderii sincronizării între cele două entități implicate în comunicare (SS și BS). În astfel de cazuri, stația de bază suplimentează capacitatea de transfer alocată. O stație abonat căreia i-a fost garantat un serviciu de trafic de tip UGS nu poate utiliza resurse care nu i-au fost alocate. Astfel, stația abonat nu poate folosi resursele alocate pentru transmiterea unor noi cereri de alocare de resurse și nici de a insera cereri în datele transmise. Resursele alocate sunt utilizate strict pentru transferul de date.

Totuși, stația abonat poate solicita un cadru de interogare prin setarea unui bit special în antetul pachetului. Acest mecanism nu încarcă traficul, stația de bază interogând doar o stație abonat care a setat bitul respectiv. Odată semnalizată, stația de bază va declanșa mecanismul de interogare specific serviciilor de tip rtPS și nrtPS.

Stația de bază interoghează stația abonat în vederea alocării resurselor solicitate. Serviciile de trafic de tip rtPS oferă suport pentru trafic cu debit variabil, asigurând stațiilor abonat posibilități de interogare periodice, de tip unicast, pentru a oferi condițiile de trafic solicitate. Serviciile de tip rtPS permit stațiilor abonat specificarea dimensiunii resurselor garantate în mod dinamic.

În comparație cu serviciile UGS, serviciile de trafic rtPS introduc o încărcare suplimentară a rețelei datorită procesului de interogare, dar garantează servicii de trafic cu rată variabilă. Pentru a evita anumite întârzieri, în cazul serviciilor rtPS stația abonat nu va transmite cereri în vederea disputării oportunităților de transmisie.

Standardul IEEE 802.16 prevede ca doar stația de bază să interogheze în mod periodic stația abonat pentru a-i oferi posibilitatea transmiterii de cereri de tip unicast, fără a specifica însă frecvența unor astfel de interogări. În mod GPSS, pentru un serviciu de trafic de tip rtPS, stației abonat îi este oferită posibilitatea de suplimentare a resurselor și totodată de a insera cereri de solicitare a resurselor în pachetele de date transmise.

Serviciile de trafic de tip nrtPS oferă suport pentru date cu rate de transfer variabil, care nu necesită rezervare de resurse. Standardul prevede ca stația de bază să interogheze stația de abonat în mod periodic sau neperiodic și să îi permită transmiterea de cereri de tip unicast în vederea solicitării de oportunități de transmisie. În acest caz, stației abonat îi este permisă disputarea solicitărilor de transmisie pentru conexiunea respectivă.

Astfel, pentru serviciile nrtPS, stația abonat poate transmite în același timp solicitări de tip unicast ca răspuns la interogările stației de bază și în același timp să dispute oportunitățile de transmisie. La fel ca și în cazul anterior, pentru serviciul de trafic de tip nrtPS, stației abonat îi este oferită posibilitatea de suplimentare a resurselor în mod GPSS cât și de a insera cereri de solicitare a resurselor în pachetele de date transmise.

Serviciile de trafic de tip BE oferă suport pentru aplicațiile care nu necesită asigurarea QoS. Stația abonat transmite cererile în intervalul de disputare a oportunităților de transmisie. În mod GPSS, pentru un serviciu de tip BE, unui abonat îi este oferită posibilitatea de suplimentare a resurselor și de a insera cereri de solicitare a resurselor în pachetele de date transmise.

Observații

1. *Standardul detaliază tehnicile de semnalizare și mecanismele de acces pentru fiecare serviciu de trafic, dar detaliile legate de modalitățile de rezervare/alocare a resurselor și de ordonare a traficului țin de modul de implementare al tehnologiei.*
2. *Combinarea mecanismelor de acces oferă posibilitatea diferențierii serviciilor și optimizarea performanțelor sistemului.*

3.4.4.5 Accesul în rețea și procesul de inițializare

O stație abonat care dorește să acceseze resursele rețelei trebuie să parcurgă următorii pași:

- (1) Scanarea canalului descendent, sincronizarea cu stația de bază și obținerea parametrilor de control pentru canalul descendent din mesajul DL-MAP transmis de stația de bază.
- (2) Obținerea parametrilor de transfer pe canal ascendent din mesajul UCD (*Uplink Channel Descriptor*) transmis de stația de bază.
- (3) Ajustarea parametrilor locali (de exemplu, puterea de emisie) conform parametrilor solicitați de către stația de bază.
- (4) Negocierea posibilităților de transfer prin informarea stației de bază și recepționarea mesajului de confirmare din partea stației de bază.
- (5) Autorizarea stației abonat și declanșarea mecanismului de schimbare a cheii de criptare.
- (6) Înregistrarea stației abonat la stația de bază.
- (7) Stabilirea conectivității IP în urma alocării unei adrese IP de către stația de bază.
- (8) Setarea unui ceas comun.
- (9) Transmiterea unor parametri de configurare adiționali către stația abonat.
- (10) Transferul efectiv al datelor.

3.4.4.6 Suportul QoS

Mecanismul principal de asigurare QoS în standardul IEEE 802.16 este acela de a asocia un pachet de date cu unul din serviciile de trafic. Un serviciu de trafic (*service flow*) este un flux unidirecțional de date ce asigură un anumit nivel QoS. Serviciile de trafic specificate de standard sunt următoarele:

1. Servicii garantate fără solicitare UGS (*Unsolicited Grant Service*): aplicații în timp real care generează un debit constant CBR (*Constant Bit Rate*) de tip *VoIP*.
2. Servicii de tip “real-time” cu interogare rtPS (*real-time Polling Service*): aplicații în timp real care generează un debit variabil VBR (*Variable Bit Rate*) de tip difuziune audio și video.
3. Servicii de tip “non-real-time” cu interogare nrtPS (*non-real-time Polling Service*): aplicații care nu necesită transfer în timp real de tip *FTP*.
4. Servicii de tip BE (*Best Effort*): aplicații care nu impun cerințe QoS.

Fiecărei aplicații rulate în rețea îi este asociat un anumit serviciu de trafic prin alocarea unui identificator de serviciu de trafic (*SFID*). Toate pachetele din rețea vor fi marcate cu acest SFID în vederea asigurării nivelului QoS corespunzător.

De asemenea, în momentul stabilirii conexiunii cu rețeaua aplicației îi va fi alocat și un identificator de conexiune (*CID*). Astfel, pachetele de date în format IEEE 802.16 vor fi marcate cu două tipuri de identificatori: SFID și CID.

3.4.4.7 Asigurarea suportului QoS

Standardul IEEE 802.16 a fost gândit în vederea asigurării unui acces wireless de bandă largă între stația abonat și furnizorul de servicii, prin intermediul stației de bază.

Scopul major al elementului QoS este acela de a realiza diferențierea și ordonarea pachetelor marcate QoS. Stația abonat și stația de bază vor asigura suportul QoS pe baza setului de parametri QoS (*QoS Parameter Set*) definit pentru acel serviciu de trafic.

Dacă un client solicită suport QoS pentru aplicațiile rulate, trebuie să includă setul de parametri QoS solicitați rețelei în câteva moduri:

- (1) explicit, specificând toți parametri de trafic;
- (2) indirect, făcând referire la un set de parametri de trafic prin indicarea unei clasei de servicii (*Service Class*);
- (3) indicând clasa de servicii solicitată împreună cu modificarea anumitor parametri.

Pe baza setului de parametri QoS solicitați și funcție de resursele disponibile, rețeaua decide dacă poate asigura suportul QoS solicitat. Setul de elemente de care dispune standardul pentru asigurarea suportului QoS atât pe traseu ascendent cât și pe traseu descendent include:

- (1) funcția de configurare și înregistrare în vederea configurării inițiale a serviciilor de trafic și a parametrilor QoS la nivel de stație abonat;
- (2) funcția de semnalizare în vederea reconfigurării și menținerii serviciilor de trafic și a parametrilor QoS;
- (3) mecanismul de ordonare a serviciilor de trafic ce folosesc paramentrii QoS pe traseu ascendent;
- (4) utilizarea setului de parametri QoS pe traseu descendent;
- (5) gruparea serviciilor de trafic în clase de servicii facilitând solicitarea parametrilor QoS în mod global, prin indicarea unei anumite clase.

Așa cum a fost precizat anterior, un serviciu de trafic (*traffic flow*) este un serviciu de transport la nivel de start MAC ce asigură transferul unidirecțional al datagramelor pe traseu ascenden (către BS) sau descendent (dinspre BS).

Un serviciu de trafic este caracterizat prin următoarele elemente:

- (1) identificatorul de serviciu de trafic SFID (*Service Flow ID*) pe 32 de biți asociat tuturor serviciilor de trafic existente. Un serviciu de trafic existent are asociat un astfel de identificator cât și direcția transferului ;
- (2) identificatorul de conexiune CID (*Connection ID*) pe 16 biți asociat doar serviciilor de trafic active;
- (3) setul de parametri asigurați suportului QoS (*Provisioned QoS Param Set*) reprezentând setul de parametri disponibili furnizați stratului MAC de sistemul de management al rețelei ;
- (4) setul de parametri QoS acceptați (*Admitted QoS Param Set*) reprezentând setul de parametri QoS pentru care stația de bază și posibil stația abonat vor face rezervarea resurselor în urma acceptării serviciului de trafic solicitat; rezervarea resurselor nu se limitează doar la o anumită capacitate de transfer asigurată, ci poate include și rezervare de memorie;
- (5) setul de parametri QoS activi (*Active QoS Param Set*) reprezentând setul de parametri QoS ce definesc suportul asigurat unui serviciu de trafic activ.

Acceptarea serviciului de trafic solicitat și implicit asigurarea suportului QoS este confirmată prin intermediul unui modul de autorizare (*Authorization Module*) la nivelul stației de bază.

Această funcție logică admite sau respinge orice modificare a parametrilor QoS asociați unui serviciu de trafic. Standardul definește două modele de autorizare și anume:

- (1) modelul de autorizare cu furnizarea parametrilor de trafic de către sistemul de management al rețelei (*Provisioned Authorization Model*);
- (2) modelul de autorizare cu furnizarea parametrilor de trafic în urma unor negocieri cu entități externe sistemului (*Dynamic Authorization Model*).

Relația între seturile de parametri QoS este următoarea: setul de parametri QoS activi (*Active QoS Param Set*) este întotdeauna un subset al setului de parametri QoS acceptați (*Admitted QoS Param Set*) care sunt un subset al setului de parametri asigurați suportului QoS (*Provisioned QoS Param Set*) confirmați de modulul de autorizare (*Autho QoS Param Set*).

3.4.4.8 Mecanismul QoS

Toate pachetele generate de aplicații sunt marcate cu identificatori CID și SFID. Pe baza acestor identificatori pachetele sunt plasate și transmise în cozi corespunzătoare.

Clasificarea în cazul standardului IEEE 802.16 oferă un suport al serviciilor QoS per-flux-uri de trafic.

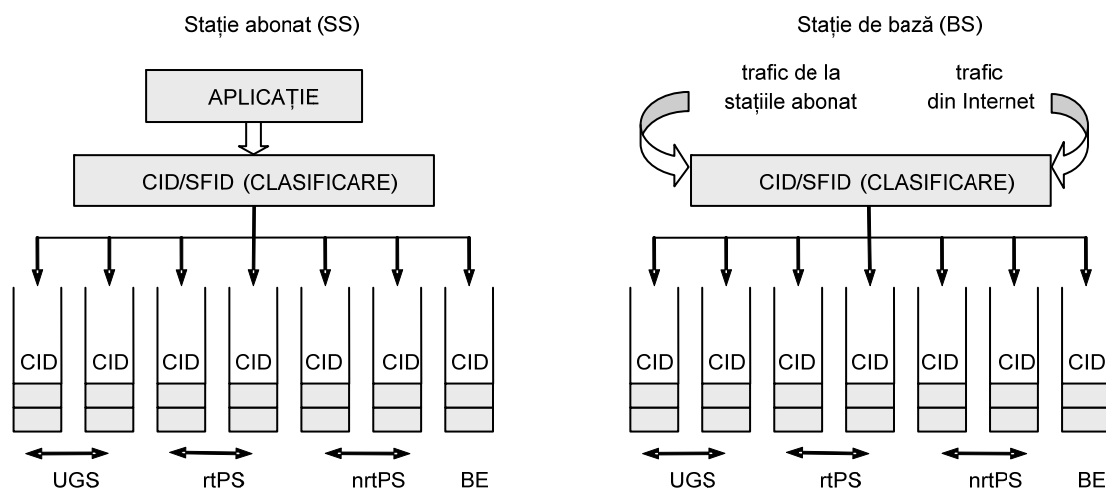


Figura 3.9 Mecanismul de clasificare la nivel de stație abonat și stație de bază

Accesul la canal se face pe baza metodei TDM pentru canalul descendent și TDMA pentru canalul ascendent. Controlul accesului la canal este realizat de către stația de bază prin intermediul mesajelor DL-MAP și UL-MAP.

Metodele TDM și TDMA sunt tehnici de acces la canal fără disputarea mediului, oferind astfel un bun control al resurselor utilizate și deci un bun suport pentru servicii QoS.

3.4.4.9 Clasificarea pachetelor

Modulul de ordonare a pachetelor alocă resurse în sensul rezervării unui număr de sloturi temporale din structura TDM, determinând astfel momentul în care pentru o anumită conexiune se transmit date. Această informație este plasată în mesajele DL-MAP și UL-MAP.

Există două module de ordonare a pachetelor:

- (1) modul de ordonare a pachetelor pe traseu ascendent și
- (2) modul de ordonare a pachetelor pe traseu descendent.

Implementarea modului de ordonare a pachetelor pe traseu descendent este relativ simplă, toate cozile de așteptare fiind atașate stației de bază. Standardul IEEE 802.16 nu definește algoritmul de ordonare al pachetelor pe traseu descendent, dar poate fi asemănător algoritmilor implementați într-un router.

Modul de ordonare a pachetelor pe traseu ascendent este mai complex deoarece cozile de așteptare sunt distribuite per stații abonat. Prin intermediul mesajelor de solicitare a resurselor (*BW Request*), modul de ordonare a pachetelor pe traseu ascendent primește informații legate de starea cozilor de așteptare și cerințele necesare alocării de debit.

Algoritmul de ordonare a pachetelor pe traseu ascendent se regăsește în conținutul mesajului UL-MAP. Algoritmul prevede două moduri de alocare a resurselor:

- (1) GPC - în cazul garantării resurselor per conexiune (*GPC*), algoritmul de ordonare a pachetelor pe traseu ascendent este localizat la nivelul stației de bază; modulul de ordonare la nivel de stație abonat este relativ simplu, urmând instrucțiunile cuprinse în mesajul UL-MAP.
- (2) GPSS - în cazul garantării resurselor per stație abonat (*GPSS*), complexitatea algoritmului de ordonare la nivel de stație abonat este mult mai ridicată comparativ cu cea la nivel de stație de bază.

3.5 QoS în rețelele wireless locale în standard IEEE 802.11

Extensia privind calitatea serviciilor în rețele IEEE 802.11 s-a concretizat în specificațiile IEEE 802.11e [IEEE.11e.05], ulterior integrate în versiunea unificatoare IEEE 802.11 [IEEE.11.07].

Aceste recomandări se referă la îmbunătățiri ale controlului accesului la mediu MAC (*Medium Access Control*) în vederea unui suport QoS mai bun.

Extensia QoS se aplică pentru toate versiunile stratului fizic PHY în standard IEEE 802.11 (b/a/g/n). Necesitatea implementării unei astfel de extensii a fost generată de câteva probleme pe care modurile de bază nu le rezolvă:

- (1) imposibilitatea de a determina durata întârzierilor de transmisie;
- (2) imposibilitatea de a determina durata transmisiilor stațiilor interogate;
- (3) imposibilitatea de a determina lungimea cadrelor transmise;
- (4) imposibilitatea de a diferenția diferitele tipuri de trafic în vederea imprimării unor priorități (nu există un mecanism de clasificare).

Extensia QoS în standard IEEE 802.11e a propus următoarele categorii de îmbunătățiri în ceea ce privește calitatea serviciilor în rețele wireless locale:

1. clasificarea traficului prin categorii de trafic și fluxuri de trafic;
2. accesul la canal și ordonarea pachetelor folosind funcții MAC îmbunătățite de tipul EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*) și HCF (*Hybrid Coordination Function*);
3. semnalizări QoS;
4. noi tipuri de cadre pentru suportul QoS.

3.5.1 Suportul QoS în rețele IEEE 802.11

Specificațiile 802.11e propun două tipuri de clasificări:

- (1) categorii de trafic TC (*Traffic Category*) și
- (2) fluxuri de trafic TS (*Traffic Stream*).

Categoriile de trafic oferă posibilitatea diferențierii nivelelor de prioritate (QoS prioritar) pentru datele ce urmează a fi transmise pe mediul wireless. Standardul IEEE 802.11e definește opt categorii de trafic TC (*Traffic Category*) în vederea suportului unor servicii diferențiate (QoS diferențiat). Implicit TC7 este mapată cu prioritatea cea mai ridicată, iar TC1 este mapată cu prioritatea cea mai scăzută. De remarcat este faptul că pot fi grupate în aceeași categorie de trafic (TC) mai multe fluxuri de date. Mecanismul de clasificare pe baza categoriilor de trafic poate fi perceput ca o clasificare per-clase de trafic.

În vederea suportului de servicii QoS cantitative (caracterizate de parametri QoS), IEEE 802.11e definește fluxurile de trafic TS (*Traffic Stream*). La nivelul fiecărei stații sunt specificate opt categorii de fluxuri de trafic, fiecare flux având asociate specificațiile de trafic corespunzătoare TSPEC (*Traffic SPECification*). Dintre specificațiile de trafic ce însoțesc un anumit flux, sunt incluse specificarea dimensiunii pachetului, rata de sosire, întârzierile maxime admise, variația maximă a întârzierilor și politicile de confirmare.

3.5.2 QoS în rețele wireless locale

În rețele wireless locale de tip IEEE 802.11, pe stratul legături de date, ca și tehnici de acces la mediul de transmisie, avem două moduri de operare și anume: funcția de coordonare distribuită (DCF) și funcția de coordonare centralizată (PCF). Fiecare dintre aceste moduri de operare furnizează un anumit nivel al suportului QoS [Gan03].

3.5.2.1 QoS în standard IEEE 802.11: modul DCF

Pentru a înțelege suportul QoS, mai întâi vor fi examinate mecanismele furnizate de modul DCF, apoi cele corespunzătoare modului PCF.

Mecanismul QoS

1. Clasificarea: nu avem mecanism de clasificare în modul DCF și deci, nu avem o diferențiere a serviciilor.
2. Mecanismul de accesare a canalului: modul DCF folosește tehnica de acces CSMA/CA, mecanism cu disputarea accesului.
3. Ordonarea pachetelor: mecanismul de ordonare a pachetelor este de tip **FIFO** (*First In First Out*).

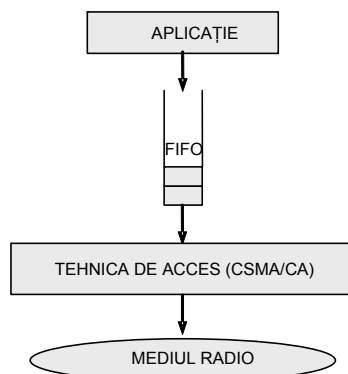


Figura 3.10 Arhitectura QoS a modului DCF (stație)

Stația și punctul de acces implementează aceeași arhitectură QoS. În mod DCF sunt furnizate servicii QoS de tip *best effort*. Capacitatea de transfer a sistemului este disputată în mod egal de către stațiile care doresc acces la mediul de transmisie.

Nu avem o diferențiere a serviciilor (*service differentiation*) și nu avem o garantare a serviciilor (*service guarantee*) în termeni de capacitate de transfer (*bandwidth*) sau întârzieri garantate (*delays*). Acest mod de operare este destinat aplicațiilor care nu solicită rulare în timp real.

3.5.2.2 QoS în standard IEEE 802.11: modul PCF

În mod PCF, IEEE 802.11 poate furniza un anumit nivel QoS al serviciilor prin intermediul unui mecanism de interogare centralizat.

Mecanismul QoS

1. Clasificarea: nu avem mecanism de clasificare în modul PCF și deci, nu avem o diferențiere a serviciilor.
2. Mecanismul de accesare al canalului: modul PCF implementează un algoritm de interogare a stațiilor, mecanism fără disputare a accesului, furnizând servicii cu performanțe predictibile.
3. Ordonarea pachetelor: fără un mecanism de clasificare, mecanismul de ordonare al pachetelor este de tip FIFO (*First In First Out*).

După cum se poate observa, acest mecanism de interogare indică un anumit nivel de garantare a calității serviciilor specific aplicațiilor în timp real. Pentru a obține un nivel garantat al calității serviciilor oferite, modul PCF trebuie să definească în mod explicit următoarele funcții:

- (1) un algoritm de determinare a secvenței de interogare și a frecvenței interogării, în vederea alocării capacității de transfer și întârzierilor maxime admise de aplicația rulată;
- (2) algoritmi de determinare a duratei intervalelor CFP și CP, algoritm de determinare a frecvenței de repetare a intervalului CFP, în vederea satisfacerii cerințelor de întârziere a aplicațiilor rulate;
- (3) un mecanism de semnalizare QoS în vederea interogării de către AP a stațiilor ce urmează să transmită.

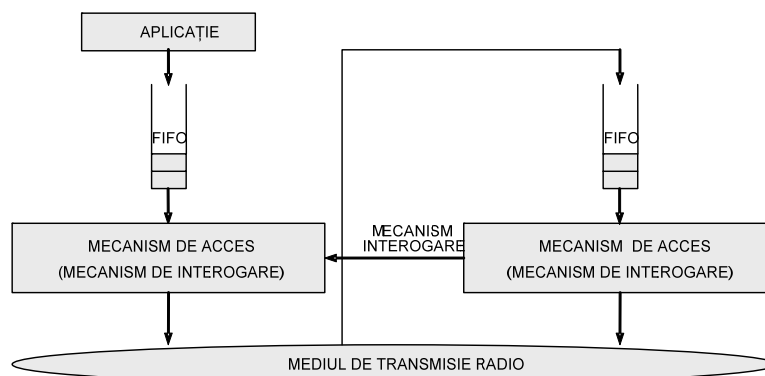


Figura 3.11 Arhitectura QoS a modului PCF (stație și punct de acces)

Stația și punctul de acces implementează arhitecturi QoS diferite, cât și un mecanism de interogare. Punctul de acces interoghează stațiile și asigură accesul la mediu cu evitarea coliziunilor pentru o stație dată.

La nivelul acestei stații, traficul este tratat în mod egal. Modul PCF poate furniza un nivel QoS garantat al serviciilor pentru aplicațiile rulate în timp real.

3.5.2.3 QoS în IEEE 802.11e: modul EDCF

Asigurarea QoS în modul EDCF este posibilă prin îmbinarea tehnicii de acces la canal CSMA/CA cu ordonarea prioritară a pachetelor în cozi de așteptare [Gan03].

Folosind clasificarea pe baza unor categorii de trafic și o tehnică CSMA/CA prioritară, EDCF furnizează servicii QoS diferențiate (QoS prioritar).

Mecanismul QoS

1. Clasificarea: implementează categorii de trafic (TC), oferind clasificare per-clase de servicii QoS.
2. Mecanismul de accesare a canalului: mecanism de control al accesului la mediu cu disputare suplimentat cu mecanism de ordonare prioritară a pachetelor.
3. Ordonarea pachetelor: mecanismul de clasificare (*packet scheduler*) rezolvă coliziunile prin garantarea unei oportunități de transmisie (*transmission opportunity*) categoriei de trafic ce are asociată prioritatea cea mai ridicată.

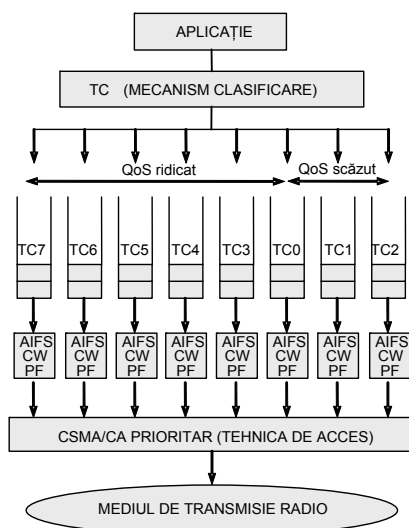


Figura 3.12 Arhitectura QoS a modului EDCF (QSTA, QoS STATION)

Îmbunătățirea majoră oferită de modul EDCF în comparație cu DCF o reprezintă inserarea a opt clase distincte de trafic. Modul EDCF combină un mecanism de control al accesului la mediu cu disputare cu un mecanism de clasificare pe bază de priorități în vederea furnizării unor servicii QoS calitative. Parametrii QoS ce asigură acces prioritar la nivelul fiecărei categorii de trafic sunt: AIFS, CW și PF.

3.5.2.4 QoS în IEEE 802.11e: modul HCF

Modul HCF garantează servicii QoS per-flux (QoS parametric) caracterizate de specificațiile de trafic TSPEC (*Traffic SPECification*). Modul HCF este o extensie a ideii de interogare folosită în modul PCF, folosind un mecanism de interogare centralizat [Gan03]. Pentru asigurarea calității serviciilor, HCF utilizează următoarele mecanisme QoS:

- (1) interogare în vederea accesului la canal;
- (2) semnalizări QoS;
- (3) clasificare în fluxuri de trafic.

Aceste mecanisme facilitează livrarea de servicii QoS cantitative pe baza cerințelor QoS ale aplicației (TSPEC).

Mecanismul QoS

1. Clasificarea: implementează clasificare pe baza fluxurilor de trafic oferind servicii QoS per-flux.
2. Mecanismul de accesare a canalului: control al accesului la mediu pe baza unui mecanism de interogare utilizând un coordonator hibrid.
3. Ordonarea pachetelor: indică un moment al transferului (TXOP) garantat fiecărei stații și indicat de către coordonatorul hibrid.

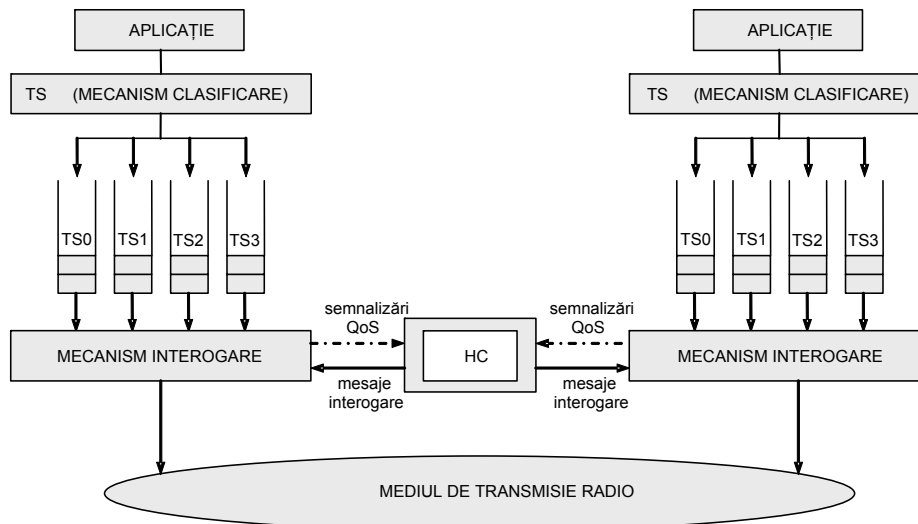


Figura 3.13 Arhitectura QoS a modului HCF (stații și coordonatorul hibrid)

Semnalizările QoS

O stație transmite către coordonatorul central (HC) două categorii de semnalizări QoS în vederea suportului fluxurilor de trafic în modul HCF:

- (1) indicator al capacității cozii de așteptare (*queue state indicator*) și
- (2) specificații de trafic (*traffic specification*).

Există cel puțin două momente de transmitere a mesajelor de semnalizare:

- (1) în intervalul CFP pe durata procesului de interogare HCF (mesaj de tipul *QoS CF-Poll*);
- (2) în intervalul CP, stația QoS disputând accesul la canal cu celelalte stații în modul EDCF (mesaj de tipul *QoS CF-Poll*).

Semnalizarea capacității cozii de așteptare: prin intermediul mesajelor de semnalizare, stația transmite către coordonatorul central (HC) capacitatea cozii de așteptare în vederea alocării unei durate corespunzătoare a parametrului TXOP.

Semnalizarea specificațiilor de trafic: prin intermediul mesajelor de semnalizare, stația transmite către coordonatorul central (HC) parametri TSPEC (capacitate de transfer, întârzieri minime acceptate etc.). Modul HCF este similar modului PCF. Folosind un coordonator hibrid, care are prioritate maximă de acces la mediul de transmisie, HCF asigură furnizarea capacității de transfer și un mediu fără disputare indicând momentele transmisiei (TXOPs). Modul HCF este eficient în cazul unui mediu cu trafic ridicat.

3.5.2.5 Abordarea comparativă a modurilor de asigurare a suportului QoS

Din abordarea comparativă a celor două moduri de asigurare a calității serviciilor (QoS) propuse în [IEEE.11e.05] se pot extrage câteva concluzii:

- (1) Mecanismul de clasificare implementat la nivelul fiecărei stații diferențiază cele două modalități de clasificare a traficului în: servicii QoS per-clase de trafic TC (*Traffic Category*) și servicii QoS per-fluxuri de trafic TS (*Traffic Stream*).
- (2) Prin modul EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*), suportul QoS în rețelele wireless locale asigură servicii QoS calitative, servicii QoS diferențiate per-clase de trafic TC (*Traffic Category*), servicii QoS diferențiate și QoS prioritar.
- (3) Prin modul HCF (*Hybrid Coordination Function*), suportul QoS în rețelele wireless locale asigură servicii QoS cantitative, servicii QoS diferențiate per-fluxuri de trafic TS (*Traffic Streams*), servicii QoS garantate, QoS parametric, caracterizat de specificațiile de trafic TSPEC (*Traffic SPECification*).

Observații:

1. IEEE 802.11 cu suport QoS nu definește algoritmi de setare ai parametrilor HCF și nici relația dintre acești parametri și cerințele QoS.
2. IEEE 802.11 nu prezintă succesiunea mesajelor de interogare și nici intervalele temporale asigurate prin intermediul cadrelor CF-Poll.
3. Standardul IEEE 802.11 [IEEE.11.07] redefinește modurile EDCF și HCF integrând mecanisme EDCA și HCCA în funcția HCF [May07].
4. Modurile EDCF și HCF [IEEE.11e.05] sunt compatibile cu modurile EDCA și HCCA [IEEE.11.07].

3.6 Concluzii

Asigurarea unui suport QoS intra-domeniu în rețelele cu acces radio este o chestiune complexă. Limitările impuse de capacitatea canalului, variația condițiilor de pe canalul radio cât și cerințele QoS definite la nivelul interfeței radio fac problema garantării suportului QoS extrem de laborioasă.

Capitolul a prezentat câteva concepte fundamentale ale furnizării suportului QoS intra-domeniu în rețele wireless extinse (WWAN), metropolitane (WMAN) și locale (WLAN).

Pentru fiecare din categoriile enumerate au fost descrise mecanismele QoS particulare ale rețelelor satelitare în standard DVB-RCS, ale rețelelor WiMAX în standard IEEE 802.16 și ale rețelelor WiFi în standard IEEE 802.11.

Mecanismele QoS intra-domeniu asigură un suport QoS cap-la-cap în interiorul unui domeniu administrativ, dar la interconectarea unor domenii administrative ce implementează mecanisme QoS diferite problema garantării suportului QoS devine critică [Mar07].

Prin mecanismele QoS propuse, această lucrare dorește să prezinte soluții de asigurare a suportului QoS cap-la-cap pentru o arhitectură ce integrează mecanismele particulare QoS intra-domeniu.

Capitolul 4

Evaluarea unor modele de implementare a suportului QoS intra-domeniu în sisteme cu acces radio

Conceptul QoS vertical are la bază modelul funcțional stratificat al unei rețele de telecomunicații. Conform conceptului QoS vertical, suportul QoS global asigurat în cadrul unei rețele de telecomunicații este dependent de specificul mecanismelor QoS de la nivelul fiecărui strat al arhitecturii rețelei.

Astfel, suportul QoS intra-domeniu poate fi asigurat numai dacă cerințele QoS ale straturilor superioare sunt transferate, percepute și garantate de straturile inferioare. În acest înțeles, putem spune că suportul QoS vertical este întotdeauna asociat unui suport QoS intra-domeniu.

4.1 Structura capitolului

Garantarea suportului QoS intra-domeniu necesită îndeplinirea următoarelor două condiții:

- (1) maparea cerințelor utilizator în termeni specifici mecanismului intra-domeniu cu suport QoS peste care este rulată aplicația și
- (2) asigurarea compatibilității în vederea translației parametrilor QoS solicitați la nivelul fiecărui strat al arhitecturii de rețea.

Cum fiecare strat își aduce contribuția la calitatea serviciului oferit, evaluarea unor modele de implementare a suportului QoS intra-sistem presupune extragerea parametrilor QoS specifici la nivelul fiecăruia dintre straturile rețelei. Capitolul este structurat în cinci paragrafe:

- (1) structura capitolului introduce perspectiva de abordare QoS intra-sistem și validează conceptul de QoS vertical;
- (2) evaluarea performanței tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio urmărește contribuția stratului legături de date la asigurarea suportului QoS global;
- (3) evaluarea performanței protocoalelor de rutare în medii cu transmisie radio pune în evidență încărcarea introdusă la nivel de strat rețea de protocoalele de rutare;
- (4) evaluarea performanței protocoalelor de transport în medii cu transmisie radio ilustrează dependența parametrică a tipului aplicației de protocoalele de pe strat transport;
- (5) evaluarea performanței protocolului SIP prezintă o modalitate de asigurare a suportului QoS la nivel de strat aplicație.

4.2 Evaluarea performanței tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio

4.2.1 Caracteristicile protocoalelor de acces la mediul de transmisie radio

Un protocol de acces multiplu (MAP, *Multiple Access Protocol*) stabilește metoda de partajare, de acces la resursele comune. În cazul sistemelor de telecomunicații, resursa ce trebuie partajată este canalul de comunicație.

În sistemele de comunicații wireless, canalul de comunicație este reprezentat de canalul radio. Rolul unui protocol de acces este acela de a evita coliziunile în momentul în care mai mulți utilizatori încearcă să acceseze simultan resursele canalului. Rețelele de calculatoare, fie ele fixe sau radio, pot fi împărțite în două categorii:

- (1) cele care folosesc conexiuni punct-la-punct (*point-to-point connections*) și
- (2) cele care folosesc canale de difuziune (*broadcast channels*).

În rețelele cu difuziune, elementul cheie îl constituie modalitatea de a determina cine are dreptul de a accesa canalul în momentul când este o anumită competiție pentru acesta.

În literatură, aceste canale de difuziune mai sunt cunoscute și sub numele de canale de acces multiplu (*multi-access channels*) sau canale cu acces aleator (*random access channels*).

Protocoalele de acces multiplu sunt o sub-clasă a protocoalelor de control al accesului la mediu (MAC, *Medium Access Control*). Aceste protocoale aparțin stratului 2, legături de date (DLC, *Data Link Control Layer*) din modelul de referință ISO/OSI, ale cărui funcții esențiale sunt:

- (1) accesarea mediului de transmisie;
- (2) multiplexarea diferitelor structuri de date;
- (3) corecția erorilor de transmisie;
- (4) sincronizarea;
- (5) realizarea unor legături punct-la-punct/punct-la-multipunct.

Evoluția protocoalelor de acces multiplu a urmărit evoluția serviciilor oferite în sistemele de comunicații.

Astfel, dacă protocoalele cu asignare fixă (*fixed assignment*) se pretează serviciilor de voce, cerința pentru serviciile multimedia (voce, date, video) a dus la apariția protocoalelor cu asignare la cerere (*demand assignment*) care sunt mult mai eficiente în astfel de situații. Mai mult, traficul cu rata de bit variabilă, conceptul QoS și cerințe ca prioritate, ordonare, suport QoS, sunt cerințe ce nu trebuie neglijate la proiectarea unor astfel de protocoale. [Pra03]

Proprietățile unui protocol sunt strâns legate de mediul pentru care acesta este proiectat. Câteva caracteristici și proprietăți generale ale unui protocol de acces multiplu ar putea fi următoarele:

- (1) protocolul trebuie să asigure alocarea întregii capacități a canalului între toți utilizatorii acelor resurse astfel încât mediul de transmisie să fie folosit eficient; eficiența în acest caz este tradusă prin oferirea unui debit util ridicat și a unor întârzieri de transmisie scăzute;

- (2) alocarea resurselor trebuie să fie echitabilă față de toți utilizatorii; într-un mediu în care utilizatorilor nu le sunt alocate nivele de prioritate, accesul la resursele alocate, în medie, este același;
- (3) protocolul trebuie să fie flexibil în a permite diferite tipuri de trafic (voce, date);
- (4) protocolul trebuie să fie stabil. Modificarea condițiilor dintr-o stare de echilibru, va conduce sistemul într-o nouă stare de echilibru; astfel, un protocol instabil, la încărcarea mediului, va duce la scăderea debitului util în rețea; în cazul unui protocol stabil, cererile de accesare a mediului nu vor reduce traficul util vehiculat în rețea;
- (5) protocolul trebuie să fie robust la schimbarea condițiilor și în cazul unor echipamente care nu funcționează tocmai în parametrii normali.

Într-un scenariu wireless, protocolul de acces la mediu trebuie să rezolve următoarele categorii de situații:

- (1) protocolul trebuie să asigure un mecanism de comunicare fără coliziuni (*collision-free*) chiar și atunci când mai multe noduri doresc să comunice utilizând același mediu partajat; una din modalitățile de rezolvare a acestei probleme este detectarea mediului (*sense the medium*) ca fiind liber înainte de a începe transmisia. Acest lucru va genera însă un nou inconvenient cunoscut ca și problema terminalului expus (*exposed terminal problem*); o altă problemă mult mai acută este aceea a terminalului ascuns (*hidden terminal problem*).
- (2) efectul de proximitate-depărtare (*near-far effect*) este resimțit atunci când transmisiile de la utilizatorii mai îndepărtați sunt mult mai atenuate decât cele ale utilizatorilor mai apropiați; în mod normal sunt folosite antene omnidirecționale în cazul transmisiilor; eficientizarea utilizării mediului se poate realiza prin implementarea unui mecanism de control al puterii de transmisie la emițător având ca rezultat reducerea efectului de proximitate-depărtare; deși mecanismul de control adaptiv al puterii de emisie reduce efectul de proximitate-depărtare, sunt introduse noi probleme legate de mecanismul de detectare a rutei și de gestionare a topologiei rețelei, necesare procesului de routare.
- (3) problema interferențelor (*interference problem*) este un alt efect nedorit în sistemele wireless; evitarea acestor efecte se poate face prin utilizarea unor antene direcționale.
- (4) efectul propagării multi-cale (*multipath effect*) se manifestă printr-o interferență inter-simbol (ISI) într-un mediu cu întârzieri; efectul ISI este acela de a crește probabilitatea de eroare datorată zgomotului auditiv; de asemenea, ISI distorsionează pozițiile trecerilor prin zero făcând sistemul mult mai sensibil la erorile de sincronizare.

Deși multe din cerințele și criteriile enumerate anterior sunt în conflict, la proiectarea unui protocol de acces multiplu trebuie găsit un compromis între:

- (1) cerințele impuse;
- (2) costurile implementării;
- (3) eficiența unor astfel de soluții.

4.2.2 Clasificarea protocoalelor de acces multiplu

Protocoalele de acces multiplu pot fi clasificate în trei categorii:

- (1) protocoale cu disputarea accesului (*contention protocols*);
- (2) protocoale fără disputarea accesului (*contentionless protocols*);
- (3) protocoale CDMA (*CDMA protocols*).

Un protocol cu disputare a accesului nu garantează utilizatorului o transmisie fără coliziuni, deoarece un alt utilizator poate transmite în același timp.

Putem spune că aceste protocoale sunt protocoale cu acces aleator (*random*) tocmai din acest punct de vedere, al modului în care este accesat mediul. Aceste protocoale pot fi subdivizate în:

- (1) protocoale de acces aleator cu repetare (*repeated random protocols*) și
- (2) protocoale cu acces aleator cu rezervare (*random access protocols with reservation*).

În cazul primei categorii, pentru fiecare transmisie există posibilitatea disputării mediului. În cazul celei de-a doua categorii, doar la prima transmisie utilizatorul nu știe modul în care poate evita coliziunile; odată ce utilizatorul reușește să acceseze canalul, transmisiile ulterioare sunt ordonate (*scheduled*) până când utilizatorul își încheie transmisia.

Protocoalele cu cerere de rezervare explicită folosesc un pachet special de rezervare în vederea transmisiei la un moment dat. În cazul protocoalelor cu rezervare implicită nu este necesară utilizarea unor pachete de solicitare a rezervării.

Protocoalele fără disputare a mediului exclud posibilitatea ca doi sau mai mulți utilizatori să acceseze canalul în același timp, accesarea în vederea transmisiei făcându-se succesiv (*scheduling*).

Acest lucru poate fi realizat printr-o asociere fixă (*fixed-assignment*), în care fiecărui utilizator îi este alocată o parte din capacitatea canalului de transmisie, sau printr-o asociere la cerere (*demand-assignment*), în care accesarea succesivă este realizată doar între utilizatorii ce au de transmis. [Pra05]

Protocoalele de tip CDMA se încadrează între cele două categorii. În principiu este un protocol fără disputare, unde unui număr de utilizatori îi este permisă transmisia simultană fără a exista posibilitatea unor coliziuni. Bineînțeles, dacă numărul transmisiilor simultane crește peste un anumit prag, apar coliziunile.

4.2.3 Protocoale cu disputarea accesului

În cazul protocoalelor MAC cu acces aleator nu avem o coordonare centralizată sau distribuită a transmisiilor. Un utilizator care este gata să transmită, nu cunoaște momentul optim la care trebuie să înceapă transmisia pentru a evita în acest mod interferența cu transmisiile celorlalți utilizatori.

Mai mult, chiar dacă un utilizator ar asculta mediul și ar sesiza existența altor transmisii, nu ar avea informații despre transmisiile simultane proprii transmisii.

Dacă mai mulți utilizatori încep să transmită în același timp apar coliziunile (*collision*) și toate pachetele afectate sunt pierdute. Disputarea mediului poate fi realizată în acest caz de către protocol sau de către straturile superioare (este solicitată retransmisia datelor).

Cea mai simplă versiune a acestei clase de protocoale este așa numitul protocol p-ALOHA (*pure-ALOHA*), ALOHA pur. Au fost propuse unele schimbări la schema de bază a protocolului în vederea creșterii eficienței și/sau adaptării lui la diferite scenarii. Cele mai multe din protocoalele MAC existente includ o componentă a protocolului inițial ALOHA.

4.2.3.1 p-ALOHA (*pure-ALOHA*)

Fiecare utilizator poate accesa mediul în orice moment de timp. ALOHA nu coordonează accesul la mediu și nici nu rezolvă problemele legate de disputare a mediului la nivel de strat MAC.

Dacă apar coliziuni, utilizatorul va retransmite pachetul respectiv după un anumit interval de timp aleator. Așteptând un anumit interval de timp aleator înaintea retransmisiei, va fi redusă probabilitatea de apariție a coliziunilor cu utilizatorul inițial.

Diagrama ce ilustrează modul de funcționare al protocolului p-ALOHA este redată în Figura 4.1.

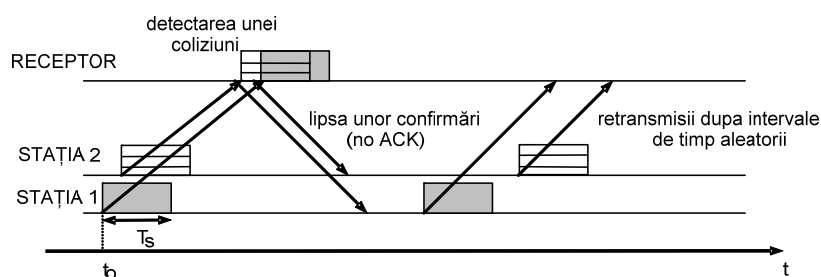


Figura 4.1 Modul de acces la mediu și retransmisiile în cadrul protocolului p-ALOHA

Receptorul detectează pachetele afectate de coliziuni. În urma unei recepții corecte, receptorul va transmite un pachet de confirmare (*acknowledgment packet*) pe canalul descendent (*downlink channel*).

La recepționarea pachetului de confirmare, utilizatorul știe că transmisia respectivă a avut succes. Această schemă de acces este una foarte simplă, adaptată unor condiții de trafic scăzut. Eficiența protocolului scade foarte mult în cazul unor condiții de trafic ridicat.

Notând cu N numărul mediu de pachete transmise într-un interval T_s , pentru o lege de distribuție Poisson a pachetelor sosite, vom avea:

$$N = \lambda \cdot T_s \quad (4.1)$$

unde, λ reprezintă rata de sosire a pachetelor.

În cazul protocolului de tip p-ALOHA este definită perioada de vulnerabilitate T_v (*vulnerable period*) ca intervalul în care transmisia unui utilizator nu este susceptibilă de coliziuni cu transmisiile altor utilizatori. Astfel, perioada de vulnerabilitate va fi $2T_s$, orice moment de timp din intervalul $(t_0 - T_s, t_0 + T_s)$.

Presupunându-se tot o distribuție de tip Poisson, probabilitatea $p(n)$ ca un număr de n pachete să fie generate pe durata unui anume pachet (coliziune), avem Releția 4.2:

$$p(n) = \frac{(N)^n}{n!} \cdot e^{-N} \quad (4.2)$$

Probabilitatea $p(o)$ ca un pachet să fie transmis cu succes este probabilitatea ca nici un alt pachet să nu fi fost transmis pe durata intervalului de vulnerabilitate $2T_s$.

$$p(o) = e^{-2N} \quad (4.3)$$

Astfel, debitul util transferat (traficul mediu) D în cazul protocolului de tip p-ALOHA va fi:

$$D = N \cdot e^{-2N} \quad (4.4)$$

Eficiența maximă a protocolului p-ALOHA este de 18% și se obține pentru $N=1$. Astfel, pentru o transmisie în care aleatorizarea se realizează corespunzător, eficiența transmisiei tinde către limita sa superioară. [Pal01]

4.2.3.2 s-ALOHA (slotted-ALOHA)

O primă îmbunătățire a schemei de acces la mediu oferită de p-ALOHA o reprezintă tehnica de acces s-ALOHA, ALOHA discretă. Noutatea introdusă o reprezintă sloturile temporale (*time slots*), toate transmisiile putând începe doar la începutul unor astfel de intervale. În aceste condiții, perioada de vulnerabilitate este redusă la jumătate, comparativ cu protocolul p-ALOHA. [Pal01]

Dacă un utilizator generează un pachet în intervalul $(0, T_s)$, transmisia acestui pachet este întârziată până la momentul $t=T_s$. Coliziunile în cazul protocolului s-ALOHA apar doar între utilizatori care generează pachete în acest interval $(0, T_s)$, urmând a transmite în același moment $t=T_s$. Cum perioada de vulnerabilitate s-a înjumătățit, eficiența protocolului s-a dublat fiind 36%.

Probabilitatea ca nici un alt pachet să nu fi fost transmis pe durata intervalului de vulnerabilitate, T_s va fi:

$$p(o) = e^{-N} \quad (4.5)$$

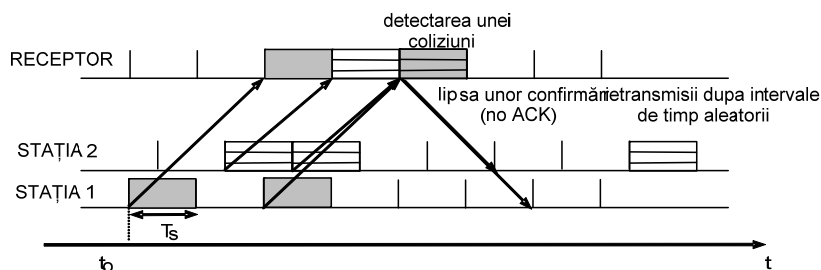


Figura 4.2 Modul de acces la mediu și retransmisiile în cadrul protocolului s-ALOHA

4.2.3.3 CSMA (Carrier Sense Multiple Access, acces multiplu cu detectarea purtătoarei)

O îmbunătățire ulterioară adusă protocolului ALOHA a constat în “ascultarea” mediului cu detectarea purtătoarei în vederea identificării existenței altor transmisii, tehnica CSMA. În acest caz, o transmisie se poate efectua numai dacă mediul a fost determinat ca fiind liber (*idle*).

Identificăm doi parametri importanți ai protocoalelor CSMA și anume: întârzierea de propagare (*propagation delay*), măsură a vitezei de propagare a unui pachet între emițător și receptor, respectiv întârzierea de detecție (*detection delay*), măsură a vitezei de detecție a mediului de transmisie ca fiind liber.

Performanța protocolului CSMA este limitată de întârzierea de propagare dintre doi utilizatori. Astfel, în timp ce un utilizator a detectat mediul ca fiind liber și începe transmisia, celălalt poate fi gata de transmisie și testează canalul în același timp. Acest lucru duce la apariția unei coliziuni. Și în acest caz, lipsa unei confirmări din partea receptorului este un indice al nerecepționării pachetului transmis.

Există câteva variante ale protocolului CSMA:

- (1) CSMA non-persistent (*CSMA non-persistent*);
- (2) CSMA p-persistent (*p-persistent CSMA*);
- (3) CSMA cu detectarea coliziunilor (CSMA/CD, *CSMA with Collision Detection*).

În cazul protocolului CSMA non-persistent, utilizatorul ce are de transmis un pachet “ascultă” mediul de transmisie înainte de a începe transmisia.

Dacă mediul este liber, pachetul va fi transmis. Dacă mediul nu este liber, utilizatorul va aștepta un timp aleator până când va testa din nou disponibilitatea utilizării canalului.

În sistemele ce utilizează tehnica CSMA p-persistent, la detectarea mediului ca fiind ocupat, utilizatorul continuă să testeze disponibilitatea mediului până când acesta devine liber.

Transmisia pachetului curent se va face cu probabilitatea p , următoarea transmisie făcându-se cu probabilitatea $1-p$ din cele t secunde, unde t reprezintă întârzierea maximă de propagare dintre oricare doi utilizatori ai sistemului.

Cu alte cuvinte, ceea ce face protocolul CSMA p-persistent este o aleatorizare mai bună a timpilor de transmisie a pachetelor ce așteaptă a fi transmise, reducând astfel probabilitatea de coliziune.

Folosind tehnica CSMA/CD, utilizatorul monitorizează permanent canalul în timp ce transmite. Dacă este detectată o coliziune, utilizatorul oprește transmisia pachetului, așteptând un timp aleator până la o nouă încercare de a transmite.

Tehnica aduce avantajul unui timp mult mai scurt de reacție în cazul coliziunilor, crescându-se astfel eficiența algoritmului. Fără mecanismul de detectare a coliziunilor, utilizatorul identifică o coliziune abia după ce întreg pachetul a fost transmis și recepționat.

Oricum, și cu acest mecanism de detectare a coliziunilor, există posibilitatea ca o stație să transmită un anumit timp până să fie informată de existența unor coliziuni. Această tehnică este utilizată în rețelele LAN ce respectă standardul IEEE 802.3. Eficiența poate fi scrisă sub forma:

$$\eta_{\text{CSMA/CD}} = \frac{1}{1 + 5a}, \text{ unde } a := \frac{T_p}{T_t} \quad (4.6)$$

În Relația 4.6, T_p reprezintă timpul maxim de propagare pe mediul de transmisie, iar T_t reprezintă timpul de transmisie al pachetului.

Eficiența transmisiei într-o rețea în standard IEEE 802.3 (folosind tehnica CSMA/CD) este cuprinsă între 40% și 90% și depinde de dimensiunile pachetului și de întârzierile de propagare.

Specific rețelelor wireless, ce folosesc tehnica CSMA, sunt însă:

- (1) problema terminalului ascuns (*hidden terminal*) și
- (2) problema terminalului expus (*exposed terminal*).

În Figura 4.3, nodul *B* este emițătorul, nodul *C* este receptorul, nodul *A* (așa numit terminal expus) este în raza emițătorului dar nu în cea a receptorului, iar nodul *D* (așa numit terminal ascuns) este în raza receptorului dar nu în cea a emițătorului.

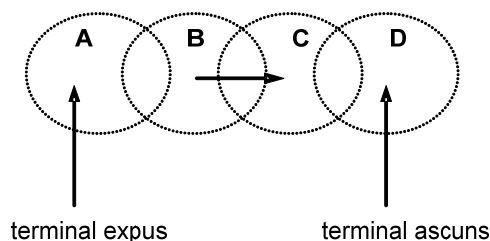


Figura 4.3 Terminalul expus și terminalul ascuns folosind tehnica CDMA

Atât timp cât nodul *B* transmite nodului *C*, nodul *D* ar putea începe transmisia către nodul *C* deoarece nu “aude” transmisia existentă chiar dacă încearcă să detecteze purtătoarea pe mediul de transmisie. În acest caz, apar coliziuni.

Mai mult, cum nodul *B* nu poate detecta aceste coliziuni, va continua să transmită. Pe de altă parte, cum nodul *B* transmite nodului *C*, nodul *A*, dacă ar vrea să transmită către un alt nod existent în rețea (în afara ariei nodurilor *B* și *C*), detectează mediul ca fiind ocupat, transmisia fiind amânată. În acest caz, deoarece nodul *C* este în afara razei nodului *A*, acea amânare a transmisiei nu este necesară.

În ambele scenarii imaginate, protocolul nu este eficient. În ciuda problemei nodului ascuns și a nodului expus, schema de acces CSMA este utilizată și în rețelele wireless locale.

Standardul IEEE 802.11 folosește schema CSMA cu evitarea coliziunilor (*CSMA/CA*, *CSMA with Collision Avoidance*).

Acest protocol este similar cu CSMA/CD, dar oferă o disputare mai scăzută a canalului, ținându-se cont de faptul că avem o transmisie în spațiul liber. Și în acest caz eficiența va depinde de dimensiunile pachetului și de întârzierile de propagare.

Observații:

1. Datorită faptului că la începutul fiecărei transmisiuni modelul I-NAME investighează mediul de transmisie în vederea unei alocări corespunzătoare a resurselor (crescând în felul acesta eficiența transmisiei), modelul I-NAME poate fi privit și ca un mecanism (protocol) de alocare a resurselor (*resource allocation*).
2. La evaluarea modelului I-NAME, la fel ca și în cazul evaluării tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio, performanțele sunt în strânsă legătură cu dimensiunea pachetului transmis, intervalul dintre pachetele transmise și bineînțeles timpul de propagare pe mediul radio (pe segmentul rețelelor de acces).

4.2.3.4 ISMA (*Inhibit Sense Multiple Access*, acces multiplu fără detectare)

Clasa protocoalelor de tip ISMA, numită și clasa protocoalelor cu acces multiplu cu ton de ocupat (BTMA, *Busy Tone Multiple Access*), reprezintă o soluție la problema terminalului ascuns.

Singura diferență față de protocoalele CSMA o constituie modul în care este “ascultat” canalul de transmisie. În cazul protocoalelor CSMA detectarea mediului ca fiind liber/ocupat se făcea prin ascultarea canalului de transmisie.

În cazul protocoalelor ISMA emițătorul transmite celorlalți utilizatori un semnal liber/ocupat pe un canal separat în vederea semnalizării absenței/existenței vreunei transmisiuni. Astfel, problema nodului ascuns este rezolvată: două noduri care sunt ascunse unul de celălalt, vor putea afla dacă unul din ei transmite sau nu prin detectarea mesajelor liber/ocupat emise pe canalul separat transmisiei. [Pra05]

4.2.4 Protocoale fără disputarea accesului

Protocoalele fără disputarea accesului evită situația în care mai mulți utilizatori încearcă să acceseze simultan același mediu de transmisie, prin ordonarea (*sceduling*) transmisiilor fiecărui utilizator.

Utilizatorii vor transmite într-o ordine prestabilită, și deci, toate transmisiile vor fi cu succes. Poate fi adoptată o schemă de asignare a resurselor:

- (1) fixă (*fixed-assignment*) sau
- (2) la cerere (*demand-assignment*).

4.2.4.1 Protocoale cu asignare fixă

Protocoalele cu asignare fixă asociază fiecărui utilizator resursele într-o manieră prestabilită, fixă, fără să țină cont de necesitatea transmisiei. Acest lucru poate fi util în cazul transmisiei de voce, dar nu este atât de eficient în cazul transmisiilor de date în mod pachet.

O alocare a resurselor în domeniul frecvență conduce la tehnica de acces multiplu cu divizarea frecvenței (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*).

O alocare a resurselor în domeniul timp conduce la tehnica de acces multiplu cu divizarea timpului (TDMA, *Time Division Multiple Access*).

Cel mai adesea, și în același timp oferind o eficiență mult mai bună, este adoptarea metodei hibride FDMA/TDMA.

Acces multiplu cu divizarea frecvenței (FDMA, Frequency Division Multiple Access)

În tehnica FDMA, banda sistemului este împărțită în canale, fiecărui utilizator fiindu-i alocată o bandă unică de frecvență.

B fiind banda de frecvență alocată fiecărui canal, cei N utilizatori pot accesa simultan banda totală (Bt , *total bandwidth*) a sistemului BN . [Pal01]

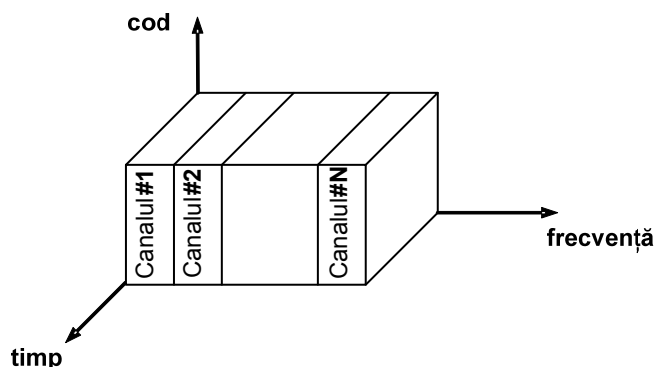


Figura 4.4 Alocarea resurselor în cadrul tehnicii FDMA

Cum filtrele trece bandă de la recepție nu sunt ideale, este necesară asigurarea unor benzi de frecvență de gardă (*B_g, guard frequency bands*) între două canale succesive în vederea reducerii interferenței canalelor adiacente.

Acest lucru însă va duce la scăderea eficienței spectrale a rețelei. O modalitate de reducere a interferențelor cu frecvențele adiacente este adoptarea unei scheme corespunzătoare de alocare a canalelor. Oricum, se va încerca găsirea unui optim între zgomotul de interferență pe care sistemul îl poate tolera și banda necesară sistemului.

Tehnica FDMA este de obicei implementată în sistemele de bandă îngustă (valoarea lui *B* este relativ îngustă în raport cu banda sa de coerență, 30kHz) sau pentru obținerea unor subcanale (valoare săzută a lui *N*) prin combinația cu alte tehnici de acces multiplu ca TDMA sau CDMA.

În sistemele FDMA de bandă îngustă, durata de simbol este de obicei mare comparativ cu valoarea medie a dispersiei întârzierilor, în consecință interferența inter-simbol este scăzută.

Așadar, în sistemele FDMA de bandă îngustă egalizoarele de la recepție pot lipsi. În comparație cu TDMA, la recepție este necesar un număr de biți suplimentari în vederea sincronizării. Sistemele de comunicații reale includ și o componentă FDMA.

Separarea canalelor de comunicare radio, de obicei se realizează prin separarea în frecvență a traseelor (ascendent/descendent, *uplink/downlink*). Această schemă este numită duplexare prin divizare în frecvență (FDD, *Frequency Division Duplexing*).

Bineînțeles, atât emițătorul cât și receptorul trebuie să cunoască frecvențele de lucru dinainte pentru a se putea acorda corespunzător. În domeniul frecvență nu este posibil saltul arbitrar de pe o frecvență pe alta așa cum se poate face în domeniul timp.

Numărul de canale ce pot fi utilizate simultan într-un sistem FDMA este dat de Relația 4.7:

$$N = \frac{B_t - 2B_g}{B} \quad (4.7)$$

Sintetizând caracteristicile schemei de acces FDMA, putem spune următoarele:

1. Duplexarea se realizează prin alocarea a câte unui canal FDMA (a unei frecvențe a sistemului), unul pentru emisie și altul pentru recepție, care odată alocat nu mai poate fi reutilizat chiar dacă nu este folosit pe parcursul acelei comunicări. După alocarea canalelor, transmisia și recepția se fac în mod continuu.
2. Tehnica de acces multiplu FDMA are o complexitate scăzută comparativ cu TDMA și CDMA, folosind un număr scăzut de biți de sincronizare (*synchronization*) și de încadrare (*framing*).
3. Echipamentele ce implementează tehnica FDMA sunt dotate cu diplexere, deoarece atât emițătorul cât și receptorul funcționează simultan, aceasta ducând la costuri ridicate de proiectare.
4. Sistemul FDMA necesită o bună filtrare RF (*radio frequency*) pentru eliminarea interferențelor provocate de canalele adiacente. Amplificatoarele de putere RF, lucrând foarte aproape de saturație din considerente de maximizare a randamentului, sunt neliniare. Aceste neliniarități provoacă însă apariția unor componente spectrale noi ale semnalului amplificat care generează la rândul lui intermodulație. Componentele spectrale de intermodulație (*intermodulation*) sunt radiații RF nedorite ce provoacă de asemenea interferență cu canalele adiacente.

Acces multiplu cu divizarea în timp (TDMA, Time Division Multiple Access)

În tehnica TDMA, timpul este împărțit în intervale temporale (*time slots*). Transmisia între diferiți utilizatori este organizată într-o structură repetitivă de cadre.

Cele N sloturi temporale alcătuiesc un cadru (*frame*), fiecărui utilizator fiindu-i alocat succesiv câte un slot din acest cadru.

Un canal fizic într-un sistem TDMA este definit ca și ocuparea în cadre succesive a slotului temporal asociat transmisiei respective. [Pal01]

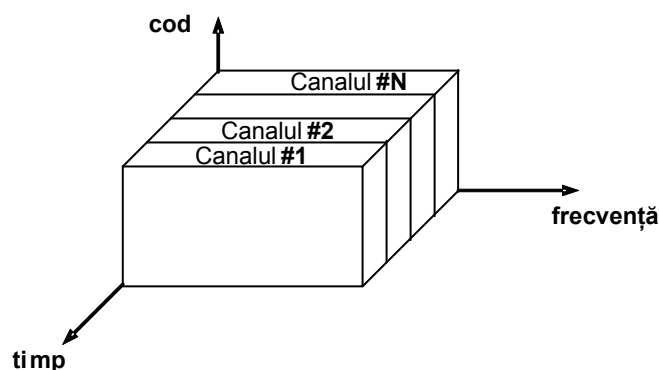


Figura 4.5 Alocarea resurselor în cadrul tehnicii TDMA

Dacă în cazul tehnicii FDMA puteam folosi modulații analogice, în cazul tehnicii TDMA sunt necesare modulații digitale, transmisia fiind discontinuă în timp.

Accesul la un canal este realizat de către o stație de bază care alocă sloturi temporale fixe fiecărui utilizator. Elementul cel mai important îl reprezintă accesarea slotului alocat la momentul oportun. Avantajul major al tehnicii TDMA este posibilitatea alocării unui număr de sloturi temporale dintr-un cadru la diferiți utilizatori.

În consecință, banda sistemului poate fi alocată la cerere diferiților utilizatori folosind schema de duplexare prin divizare în timp (TDD, *Time Division Duplexing*), prin concatenarea sau realocarea sloturilor temporale, funcție de prioritățile traficului solicitat.

Sintetizând caracteristicile schemei de acces TDMA, putem spune următoarele:

1. Tehnica TDMA împarte o purtătoare la mai mulți utilizatori, fiecare utilizator folosind un segment temporal în exclusivitate, deci întreaga bandă disponibilă.
2. Transmisia nu este continuă, avantajul reflectându-se într-un consum redus de energie și ușurința procesului de transfer al legăturii (*handover*), terminalul putând evalua nivelul semnalului pe intervalele de timp care nu îi sunt alocate.
3. Sistemul TDMA folosește intervale temporale diferite pentru emisie/recepție astfel că nu este necesară diplexarea.
4. În sistemele TDMA sincronizarea este critică deoarece transmisia se face secvențial, receptoarele trebuind a fi sincronizate pentru fiecare din aceste secvențe. De asemenea este necesară egalizarea adaptivă la recepție, vitezele de transmisie și deci rata de bit fiind mult mai mare comparativ cu tehnica FDMA.

4.2.4.2 Protocoale cu asignare la cerere

Protocoalele cu asignare la cerere asociază resursele în conformitate cu cererile de rezervare transmise de către utilizatori. Cererile de rezervare sunt transmise pe canale de acces dedicate sau aleatorii, urmând apoi a fi procesate.

În conformitate cu rezultatul procesărilor, utilizatorilor le sunt sau nu asociate resursele sistemului (capacitatea canalului). Aceste scheme au rate de transfer ridicate în comparație cu protocoalele cu asociere fixă în cazul unui trafic hibrid multimedia.

Principalele probleme asociate acestor protocoale sunt câmpurile anet suplimentare introduse în pachete și întârzierile de procesare ale cererilor de rezervare.

Procesul de asociere a resurselor rețelei poate fi făcut în două moduri:

- (1) controlat de către o entitate centrală, prin intermediul unor protocoale cu asociere la cerere având control centralizat (*centralized demand-based assignment protocols*);
- (2) prin controlul distribuit între utilizatori, utilizând protocoale cu asociere la cerere având control distribuit (*distributed demand-based assignment protocols*).

Acces multiplu cu asociere la cerere (DAMA, Demand Assigned Multiple Access)

Accesul multiplu cu asocierea la cerere aparține categoriei protocoalelor cu rezervare ALOHA, r-ALOHA (*reservation ALOHA*).

Protocolul DAMA are două moduri de operare:

- (1) cu rezervare (*reserved state*) și
- (2) ALOHA (*ALOHA state*), după cum este prezentat.

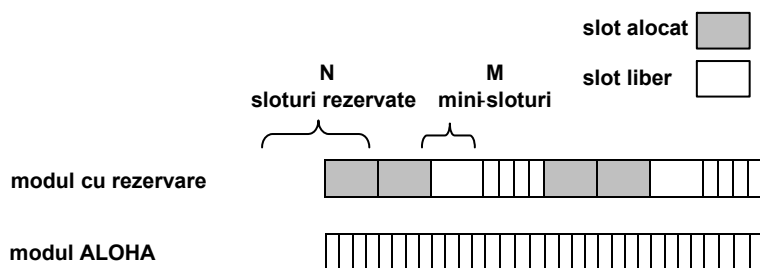


Figura 4.6 Modurile cu rezervare și ALOHA ale protocolului DAMA

Dacă nu există sloturi alocate ca urmare a lipsei cererilor de rezervare a resurselor, sistemul funcționează în modul ALOHA. Pe durata acestui mod de operare toate stațiile pot încerca rezervarea unor sloturi viitoare prin trimiterea unor cereri de rezervare pe durata celor M mini-sloturi ce alcătuiesc cadrul.

Disputarea sloturilor pe intervalul cărora se face rezervarea urmează principiile protocolului s-ALOHA. La transmiterea cu succes de către un utilizator a unei cereri de rezervare în unul din cele M mini-sloturi, sistemul comută în modul cu rezervare. [Pra05]

În modul cu rezervare, cadrul este împărțit în $N+1$ intervale temporale, dintre care cele N sloturi sunt destinate pentru transmisiile ce au solicitat rezervarea.

Ultimul slot este divizat în M mini-sloturi ce sunt utilizate pentru transmiterea cererilor de rezervare. Informarea utilizatorului legat de slotul temporal alocat se face prin transmiterea unui pachet de confirmare către acesta.

În urma unei rezervări, utilizatorului îi sunt alocate unul sau mai multe sloturi din cele M disponibile. DAMA este o schemă de rezervare explicită (*explicit reservation scheme*), fiecare slot fiind rezervat în mod individual (*explicit*).

Protocol cu interogare succesivă (Roll-Call Polling)

Protocolul cu interogare succesivă (*Roll-Call Polling*) face parte din categoria protocoalelor cu asociere la cerere având control centralizat. Fiecare utilizator este interogată de către o entitate centrală, în mod succesiv, conform unei secvențe prestabilite.

Pe parcursul unei secvențe, fiecare utilizator este interogată o singură dată. La recepționarea unui mesaj de interogare din partea entității centrale, utilizatorul fie transmite un mesaj de control prin care indică faptul că nu are informație de transmis, fie transmite toate mesajele stocate în buffer.

După transmiterea ultimului pachet, utilizatorul transmite entității centrale un mesaj de încheiere a transmisiei. În așteptarea acestui ultim mesaj, entitatea centrală transmite un mesaj de interogare următorului utilizator, conform secvenței prestabilite.

Încărcarea sistemului în cazul protocolului cu interogare succesivă provine din transmiterea mesajelor de interogare (*polling messages*) și a mesajelor de control (*control messages*), transmise atunci când un utilizator nu are nimic de transmis sau își încheie transmisia.

Încărcarea rețelei crește foarte mult în situația în care numărul utilizatorilor care nu au nimic de transmis este mare.

Scheme de utilizare asemănătoare sunt folosite în tehnologia Bluetooth și reprezintă o posibilă schemă de acces în rețele IEEE 802.11.

Protocol cu pasarea unui jeton (Token-Passing Protocol)

Protocoalele ce utilizează pasarea unui jeton între stații sunt larg răspândite în rețele de tip LAN. Protocolul cu pasarea unui jeton aparține categoriei protocoalelor cu asociere la cerere având controlul distribuit.

Fiecare utilizator are o adresă unică de identificare, fiind ordonați ciclic, formând o topologie logică de tip inel. Printr-o succesiune de biți, numită jeton (*token*), circulă în inel.

Utilizatorul care recepționează jetonul poate să transmită. La încheierea transmisiei, utilizatorul transmite jetonul următorului în inel. Dacă acesta nu are nimic de transmis, la rândul său, va transmite jetonul următorului din inel imediat sau după un anumit interval de timp. Practic, secretul acestui protocol constă în gestionarea jetonului. Astfel pot exista diferite modalități de pasare sau de menținere a jetonului.

În cazul protocolului în standard IEEE 802.5 odată recepționat, jetonul este menținut 10 secunde, timp în care se face transmisia. La expirarea intervalului de timp, după ce a fost transmis un anumit număr de pachete, jetonul este eliberat.

Acces multiplu cu pachet de rezervare (PRMA, Packet Reservation Multiple Access)

Tehnica de acces multiplu cu pachet de rezervare face parte din categoria protocoalelor cu asociere la cerere, având la bază schema de acces s-ALOHA în vederea realizării rezervărilor și reprezintă o adaptare la comunicațiile celulare a protocolului r-ALOHA.

Un anumit număr de intervale temporare (*slots*) formează un cadru (*frame*) care se repetă în timp. Stația de bază transmite starea fiecărui slot (liber/ocupat) către toate stațiile mobile. Pachetele generate de către un utilizator sunt stocate într-un buffer FIFO (*first-in-first-out*).

În vederea transmiterii primului pachet, utilizatorul dispută sloturile libere conform schemei de acces ALOHA. La transmiterea cu succes a primului pachet, următoarele sloturi sunt implicit rezervate pentru această stație. [Pra03]

În momentul în care transmisia este întreruptă, stația pierde slotul rezervat anterior, acesta putând fi utilizat de către un alt utilizator.

Din cele expuse, se poate observa faptul că tehnica PRMA este potrivită situațiilor în care numărul utilizatorilor este aproximativ același cu al canalelor disponibile cât și situațiilor în care un mare număr de utilizatori nu transmit. Când numărul de utilizatori este mai mare decât numărul canalelor, calitatea transmisiei scade foarte mult, utilizatorii neputând efectua transmisiile.

Observații:

1. *Clasificarea și analiza protocoalelor (sau mecanismelor) de acces la mediul de transmisie radio are ca scop prezentarea evoluției mecanismelor de acces la canalul de transmisie, de la o alocare neprioritară (sau aleatoare) către o alocare prioritară ce are la bază marcarea traficului.*
2. *Prin modul de operare a modelului I-NAME propus (vezi descrierea din Capitolul 4 al acestei lucrări), gestionarea accesului la resursele sistemului operează independent de protocolul de acces la mediul de transmisie radio.*
3. *Realizând un transfer al parametrilor QoS specifici (cross-layering), de la nivelul stratului fizic către stratul aplicație la nivelul fiecărei entități a rețelei (network entity), modelul I-NAME este transparent tehnicilor de acces la resurse din sistemul peste care operează. Mai mult, integrând un mecanism QoS inter-sistem, modelul I-NAME asigură compatibilizarea la nivel de strat aplicație a tuturor mecanismelor particulare de acces la resurse.*
4. *Scopul acestor evaluări intra-sistem, în contextul prezentării modelului I-NAME inter-sistem, este tocmai acela de a estima și considera efectul particular al mecanismelor de control al accesului la mediul de transmisie. Toate măsurătorile evidențiază și izolează efectul fiecărui parametru QoS asupra performanțelor comunicației cap-la-cap.*
5. *Modelul I-NAME preia acest set de parametri QoS, îi personalizează pentru aplicația dată și îi transferă în rețea în vederea alocării și rezervării resurselor pe traseul de la nodul sursă până la nodul destinație. Astfel, putem spune că modelul I-NAME are înglobată și funcția de control al accesului la mediu (media access control), în cadrul funcției de management integrat al resurselor.*
6. *Analiza tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio constituie un set de lucrări de laborator pentru disciplina Sisteme Wireless din cadrul ciclului de master la Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației. Acest set de lucrări de laborator este rezultatul analizei mecanismelor QoS intra-sistem, parte a studiilor prezentei lucrări.*

4.2.5 Mecanisme de acces în sisteme wireless locale în standard IEEE 802.11

Fiecare stație (STA, **Station**) și punct de acces (AP, **Access Point**) ale unei rețele în standard IEEE 802.11 implementează servicii de strat MAC ce conferă posibilitatea schimbului de datagrame (MSDU, **MAC Service Data Unit**) între punctele de acces la servicii MAC.

Una din funcțiile de bază ale stratului MAC este aceea de asigurare a accesului la mediul de transmisie. Înainte de a avea loc transmisia pe mediul radio, stratul MAC asigură câștigarea accesului la mediul de transmisie folosind una din cele două metode:

- (1) acces multiplu cu detectarea purtătoarei și evitarea coliziunilor (CSMA/CA, **Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance**)

Standardul IEEE 802.11 definește acest mod ca și funcție de coordonare distribuită (DCF, *Distributed Coordination Function*).

Funcția de coordonare distribuită este o metodă de acces ce permite stațiilor dintr-o rețea wireless LAN disputarea accesului la mediul de transmisie folosind tehnica CSMA/CA. Funcția DCF poate fi folosită atât în modul infrastructură cât și în modul ad-hoc. În cazul configurației cu punct de acces, AP are rol de hub în transmiterea mai departe a datelor recepționate.

(2) acces prioritar

Standardul IEEE 802.11 definește acest mod ca și funcție de coordonare centralizată, (PCF, *Point Coordination Function*).

Funcția de coordonare centralizată poate fi privită ca și un protocol de acces fără disputare, utilizabil doar în configurațiile infrastructură, funcția de coordonare a accesului fiind asigurată de AP.

Funcția de coordonare distribuită (DCF) cât și cea având coordonare centralizată (PCF) pot opera în cadrul unei configurații wireless prin alternarea intervalelor fără disputare (CFP, *Contention-Free Period*) cu cele cu disputare (CP, *Contention Period*).

În cadrul procesului de comunicare a unei rețele wireless având la bază standardul IEEE 802.11 este definită o structură numită supercadru (*superframe*).

Motivul introducerii acestei structuri este acela al oferirii unei coexistențe echitabile între modurile DCF/PCF și totodată al posibilității introducerii diferențierilor parametrice QoS între aplicațiile rulate.

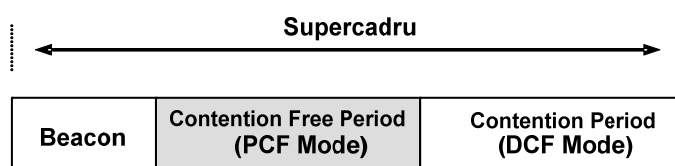


Figura 4.7 Structura unui supercadru în standard IEEE 802.11

4.2.5.1 Funcția de coordonare distribuită

Diferența majoră între rețelele wireless LAN față de cele wired LAN este modul de raportare la tehnica de control al accesului la mediu. Detectarea coliziunilor pe mediul wireless este imposibilă, din acest motiv fiind utilizată tehnica de acces CSMA/CA.

Tehnica se bazează pe evitarea coliziunilor și utilizarea confirmărilor pozitive ACKs (*ACKnowledgements*). Mecanismul de acces CSMA/CA este unul de tip *listen before talk* [Gan03].

Principiul utilizării confirmărilor pozitive (sau al mesajelor de tip ACK) este bazat pe un mecanism simplu: la transmiterea unui pachet, receptorul transmite un mesaj ACK, dacă respectivul pachet a fost recepționat; dacă emițătorul nu recepționează mesajul ACK, presupunem că a avut loc o coliziune, pachetul fiind retransmis.

Standardul IEEE 802.11 implementează un mecanism virtual de detectare a purtătoarei NAV (*Network Allocation Vector*). La nivel de strat MAC este monitorizată valoarea câmpului *Duration* a tuturor datagramelor transmise.

Pe baza informației din câmpul *Duration* al fiecărui cadru, vectorul NAV indică stației un interval de așteptare până la începerea transmisiei efective. Dacă valoarea câmpului *Duration* este mai mare decât valoarea curentă indicată în NAV, atunci NAV va fi setat la noua valoare. Odată decrementată valoarea NAV, transmisia poate începe dacă mediul este detectat ca fiind liber.

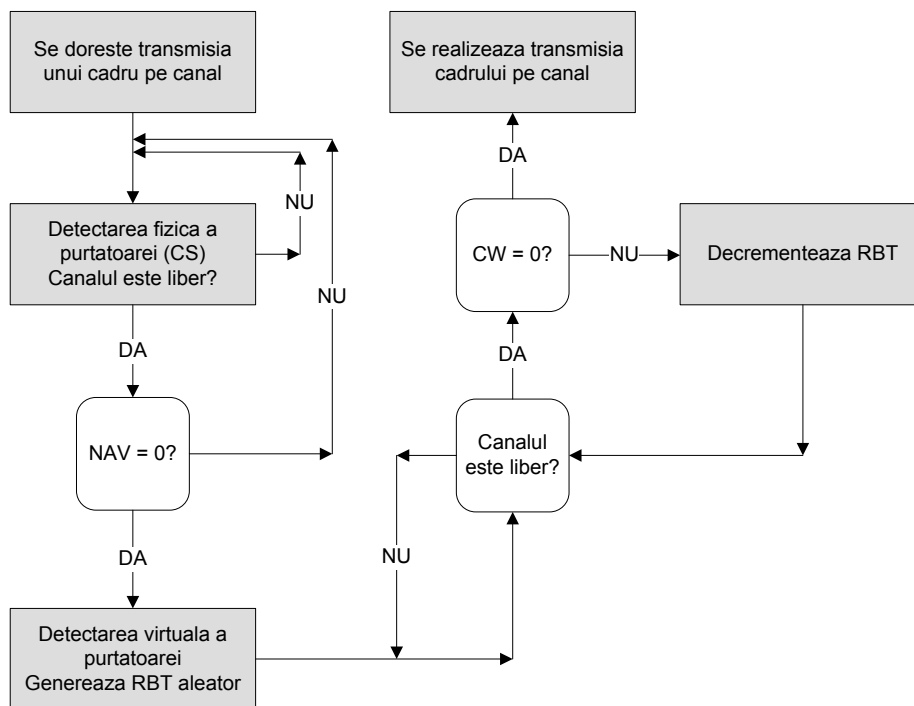


Figura 4.8 Mecanismul de transmisie pe canalul radio conform CSMA/CA

CSMA/CA evită probabilitatea de apariție a coliziunilor partajând mediul prin folosirea mecanismului RBT (*Random Backoff Time*) pentru cazul în care, stațiile ce vor să transmită, detectează mediul ca fiind ocupat.

Acest interval, cu evoluție exponențială, este determinat de un algoritm aleator de setare a timpilor de așteptare înaintea unei transmisii și poartă numele de fereastră de disputare CW (*Contention Window*). Dimensiunea CW se dublează la fiecare încercare de transmisie întârziată, până la atingerea dimensiunii maxime.

Odată transmis cadrul curent, pentru următoarea transmisie dimensiunea CW este setată la valoarea minimă. Este esențial de reținut că acești timpi de așteptare ST (*Slot Time*) sunt setați în mod individual pentru fiecare cadru ce urmează a fi transmis.

În concluzie, putem spune că implementarea mecanismului de acces CSMA/CA este realizat la nivel de substrat MAC prin combinarea celor două mecanisme de detectare a purtătoarei, mecanismul de detectare virtuală urmat de mecanismul de detectare fizică.

Procesul de comunicare în cazul unei rețele wireless utilizând modul DCF este relativ simplu, deoarece nu există interogări din partea punctului de acces, deci nu avem aceea structură supercadru. Succesiunea procesului de comunicare este următoarea:

- (1) Stațiile așteaptă expirarea intervalului DIFS.
- (2) Pe durata CP, care urmează imediat după intervalul DIFS, stațiile își calculează timpii de așteptare RBT (*back off times*) pe baza unui număr aleator multiplicat cu durata unui ST (*Slot Time*).
- (3) Stațiile decrementează contorul ce indică timpul de așteptare cu câte un ST. Stația al cărei timp de așteptare a expirat (contorul a fost decrementat la zero), după verificarea mediului ca fiind liber CCA (*Clear Channel Assessment*) câștigă controlul asupra mediului de transmisie.
- (4) Are loc transmisia datelor.
- (5) Stația receptoare recepționează datele transmise și așteaptă un interval SIFS înaintea transmiterii confirmării ACK către stația emițătoare.
- (6) Stația emițătoare recepționează confirmarea ACK, procesul reluându-se cu un nou interval DIFS.

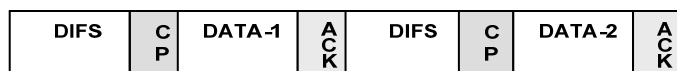


Figura 4.9 Succesiunea intervalelor în modul de coordonare DCF

4.2.5.2 Funcția de coordonare centralizată

Funcția cu coordonare centralizată reprezintă un mod de transmitere a cadrelor în rețea fără disputare a accesului, prin utilizarea unui mecanism de interogare implementat la AP.

Modul PCF prezintă avantajul garantării unei anumite întârzieri a transferului, astfel încât pot fi rulate aplicații ce solicită QoS. [Gan03]

Deoarece configurațiile ad-hoc nu au un AP (entitatea centrală ce realizează interogările), modul PCF nu poate fi rulat decât în configurații de tip infrastructură.

Pornind dintr-un moment ipotetic al procesului de comunicare, pentru cazul unei rețele care are punctul de acces AP (*Access Point*) configurat în modul PCF și câteva stații configurate cu posibilitate de interogare din partea AP, succesiunea comunicării ar fi următoarea:

- (1) AP transmite cu cadru de broadcast de tip *Beacon*.
- (2) Pe durata CFP, AP interoghează stațiile având activat modul PCF în vederea unor eventuale transmisii.
- (3) Dacă una din stații dorește să transmită, răspunde interogării transmițând un cadru către AP.
- (4) Dacă o stație nu are date de transmis, răspunde printr-un cadru de tip *Null* interogării AP.
- (5) Interogarea AP continuă pe durata CFP.
- (6) La expirarea CFP, AP nu mai poate interoga stațiile, urmând perioada CP. Pe durata CP, stațiile utilizând modul DCF dispută mediul de transmisie. AP va utiliza pe durata CP același mod DCF.

Putem spune că CFP reprezintă un mecanism controlat al accesului (*controlled access policy*), în timp ce CP este un mecanism de acces aleator (*random access policy*).

Pe durata CFP, AP deține controlul accesului în rețea, iar pe durata CP câștigă în mod aleator accesul la mediul de transmisie.

În modul PCF, AP nu trebuie să aștepte expirarea intervalului DIFS, ci va utiliza intervalul PIFS, mai scurt decât DIFS, pentru câștigarea controlului asupra mediului de transmisie.

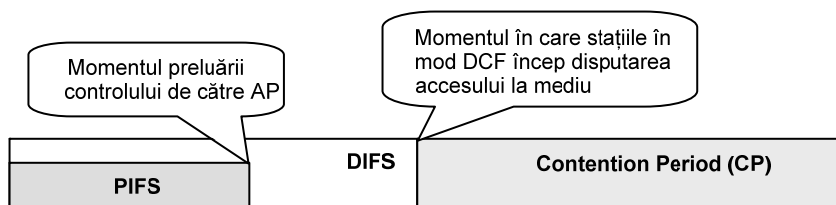


Figura 4.10 Succesiunea modurilor de acces DCF/PCF

Observații:

1. Utilizarea mecanismului CSMA/CA duce la creșterea încărcării rețelei wireless cu aproximativ 50% din totalul capacității de transfer disponibil.

2. În cazul tehnicii CSMA/CD, încărcarea rețelei este de aproximativ 30%. La apariția congestiei însă, încărcarea rețelei cu trafic de control ajunge la 70% pentru tehnica CSMA/CD în timp ce pentru tehnica CSMA/CA încărcarea rețelei cu trafic de control este relativ constantă, 50 - 55%.
3. Cadrul Beacon este un cadru de broadcast transmis periodic (10-100 ori pe secundă). Acest cadru conține parametrii de sistem, informație de sincronizare etc.
4. DCF poate fi utilizat fără PCF, dar PCF funcționează numai împreună cu DCF. Odată ce AP a încheiat procesul de interogare, celelalte stații continuă disputarea mediului utilizând modul DCF.
5. În echipamente este implementat doar modul DCF, modul PCF fiind o variantă opțională a standardului IEEE 802.11.

4.2.5.3 Spații inter-cadru în standardul IEEE 802.11

Spațiul inter-cadru IFS (*InterFrame Space*) este termenul utilizat pentru definirea intervalelor temporale standardizate utilizate în rețelele wireless în standard IEEE 802.11.

Spațiile inter-cadru sunt utilizate fie pentru transmiterea unor anumite tipuri de mesaje în rețea (asigurarea accesului la mediu), fie pentru controlul intervalelor în care stațiile dispută mediul de transmisie (asigurarea unor nivele de prioritate).

Fiecare procedură este asociată unui interval inter-cadru specific. Fiecare interval definește timpul dintre ultimul simbol al cadrului anterior și primul simbol al cadrului următor.

Intervalele inter-cadru în standard IEEE 802.11 sunt exprimate în microsecunde. IEEE 802.11 definește patru spații inter-cadru de durate diferite:

- (1) SIFS (*Short InterFrame Space*);
- (2) PIFS (*PCF InterFrame Space*);
- (3) DIFS (*DCF InterFrame Space*);
- (4) EIFS (*Extended InterFrame Space*).

Durata acestor intervale este determinată de tehnologia radio utilizată și imprimă prioritatea unor pachete transmise în rețea.

Pachetul care așteaptă expirarea intervalului SIFS (cel mai scurt spațiu inter-cadru) are prioritate maximă.

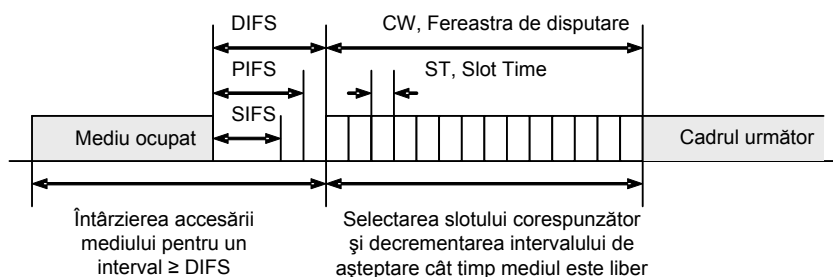


Figura 4.11 Succesiunea în timp a spațiilor inter-cadru în standard IEEE 802.11

În Tabelul 4.1 sunt prezentate spațiile inter-cadru corespunzătoare diferitelor tipuri de tehnici de transmisie corespunzătoare standardului IEEE 802.11.

Spații inter-cadru în standard IEEE 802.11				
Tipul tehnicii de transmisie	ST [μ s]	SIFS [μ s]	PIFS [μ s]	DIFS [μ s]
FHSS	50	28	78	128
DSSS	20	10	30	50
OFDM	9	16	25	34
HR/DSSS	20	10	30	50
ERP long	20	10	30	50
ERP short	9	10	19	38

Tabelul 4.1 Durata spațiilor inter-cadru pentru diferitele tehnici de transmisie

ST (Slot Time)

Un interval standard în rețelele wireless LAN este intervalul ST (slot temporal). Pentru o rețea wireless, intervalele ST reprezintă unitatea etalon de măsură a timpului. Este un interval temporal de lungime fixă ce determină lungimea ferestrei de disputare CW.

De asemenea, intervalul temporal ST este compus dintr-un interval de detectare a nivelului de energie pe canalul de transmisie și un interval de timp alocat transmisiei pe mediul radio.

Durata unui interval ST este specifică fiecărei tehnologii de transmisie wireless utilizată pe stratul fizic PHY (*Physical Layer*), valorile particulare putând fi identificate în Tabelul 4.1.

SIFS (Short InterFrame Space)

Intervalul SIFS asigură nivelul de prioritate cel mai ridicat într-o rețea wireless, fiind asociat schimbului de mesaje/servicii ce necesită un interval de procesare minim, fiind cel mai scurt interval inter-cadru.

SIFS asigură un nivel de prioritate maximă câtorva tipuri de cadre (cadrele de management). Tipurile de cadre transmise înainte/după intervalul SIFS sunt următoarele:

- (1) RTS (*Request To Send*) cerere de rezervarea mediului;
- (2) CTS (*Clear To Send*) răspuns la un cadru RTS;
- (3) ACK (*Acknowledgement*) confirmarea recepționării datelor transmise.

PIFS (PCF InterFrame Space)

Intervalul PIFS asigură un nivel de prioritate superior celui oferit de DIFS, dar inferior celui oferit de SIFS. Spațiile inter-cadru PIFS sunt utilizate doar atunci când modul de coordonare în rețea este PCF (*Point Coordination Function*).

Cum durata intervalului PIFS este mai scurtă decât cea a intervalului DIFS, punctul de acces va deține întotdeauna accesul la mediu înainte ca stațiile, cu mod de coordonare DCF (*Distributed Coordination Function*), să înceapă disputarea mediului.

DIFS (DCF InterFrame Space)

Intervalul DIFS este cel mai lung interval inter-cadru utilizat în mod implicit de către stațiile având modul de coordonare în rețea DCF.

Pe durata acestui interval, stațiile din rețea ce folosesc modul de coordonare DCF, vor transmite cadre de date și de management, iar la expirarea intervalului DIFS va începe disputarea accesului la mediu.

Dacă la expirarea intervalului DIFS, două stații vor accesa simultan mediul de transmisie, vor apărea coliziuni. În acest caz, fiecare stație va aștepta un interval bine determinat până va începe transmiterea datelor.

EIFS (Extended InterFrame Space)

EIFS reprezintă cel mai lung spațiu inter-cadru definit în standardul IEEE 802.11. Este utilizat atunci când ultimul cadru transmis este eronat sau dacă un ultim cadru dintr-o transmisie nu a fost recepționat.

Modul de calcul al spațiilor inter-cadru este dat de următorul set de relații:

$$\text{PIFS} = \text{SIFS} + 1\text{ST} \quad (4.8)$$

$$\text{DIFS} = \text{SIFS} + 2\text{ST} = \text{PIFS} + 1\text{ST} \quad (4.9)$$

$$\text{EIFS} = \text{SIFS} + (8 \times \text{ACK size}) + \text{Preamble Length} + \text{PLCP header length} + \text{DIFS} \quad (4.10)$$

Observații:

1. *Cunoștințele avansate în domeniul analizei și proiectării rețelelor wireless în standard IEEE 802.11 au fost dobândite pe durata cursurilor de certificare Certified Wireless Networking Administrator (Cluj-Napoca, Romania, 2007) și Cisco Unified Wireless Networking (Timonium, Statele Unite ale Americii, 2008).*
2. *Aceste cunoștințe sunt de asemenea valorificate în materialul prezentat la disciplina Proiectarea Rețelelor Radio din ciclul de master al Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației.*

4.2.6 Mecanisme de acces cu suport QoS în sisteme wireless locale în standard IEEE 802.11

Evoluția extensiei pentru suportul QoS în rețelele wireless locale în standard IEEE 802.11e a avut același dinamism ca și standardul original [IEEE-1997].

Extensia privind calitatea serviciilor în rețele de acces wireless în standard IEEE 802.11 a îmbunătățit specificațiile standardului IEEE 802.11 [IEEE-2001qos] și s-a concretizat în specificațiile IEEE 802.11e [IEEE-2005qos].

Aceste recomandări se referă la îmbunătățiri ale funcțiilor de control al accesului la mediu MAC (*Medium Access Control*) în vederea asigurării unui suport QoS.

Recomandările inițiale IEEE 802.11e [IEEE.11e.01] se aplică stratului fizic definit în standardul IEEE 802.11, permițând suportul QoS pentru tehnicile de transmisie cu spectru împrăștiat prin secvență directă (*DSSS*) și salt de frecvență (*FHSS*), respectiv OFDM.

Necesitatea implementării unei astfel de extensii a fost generată de câteva probleme pe care funcțiile de acces de bază (DCF și PCF) asociate standardului IEEE 802.11 nu le rezolvă:

- (1) problema întârzierilor de acces la mediu pentru aplicațiile discriminate de componenta temporală (voce, video, transmisii multimedia etc.);
- (2) durata transmisiilor stațiilor interogate și lungimea cadrelor transmise;
- (3) imposibilitatea diferențierii între diferite tipuri de trafic în vederea imprimării unor priorități (nu există un mecanism de clasificare).

Există două faze majore ale îmbunătățirilor aduse de recomandările IEEE 802.11e în ceea ce privește suportul QoS în sistemele de acces wireless locale. Cele două faze sunt marcate de specificațiile IEEE 802.11e-2001 [IEEE.11e.01], respectiv IEEE 802.11e-2005 [IEEE.11e.05].

În continuare vor fi prezentate și analizate funcțiile suport QoS definite în cele două etape de standardizare ale IEEE 802.11e, din punctul de vedere al suportului QoS oferit.

4.2.6.1 Funcția de coordonare distribuită îmbunătățită (EDCF, Enhanced DCF) și funcția de coordonare hibridă (HCF, Hybrid Coordination Function)

Prima fază de dezvoltare a unui suport QoS în rețele de acces wireless locale [IEEE.11e.05] este caracterizată de următorul set de funcționalități:

- (1) clasificarea traficului prin categorii de trafic și fluxuri de trafic;
- (2) controlul accesului la canal și ordonarea pachetelor folosind funcții de control al accesului îmbunătățite de tipul EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*) și HCF (*Hybrid Coordination Function*);
- (3) introducerea semnalizărilor QoS;
- (4) definirea unor tipuri de cadre specifice suportului QoS.

Clasificarea traficului în sisteme wireless locale în standard IEEE 802.11

Specificațiile 802.11e propun două tipuri de clasificări:

- (1) categorii de trafic TC (*Traffic Category*) și
- (2) fluxuri de trafic TS (*Traffic Stream*). [Gan03]

Categoriile de trafic oferă posibilitatea diferențierii nivelelor de prioritate pentru datele ce urmează a fi transmise pe mediul wireless.

Standardul IEEE 802.11e [IEEE.11e.05] definește opt categorii de trafic TC (*Traffic Category*) în vederea suportului unor servicii diferențiate. Implicit *TC7* este mapată cu prioritatea cea mai ridicată, iar *TC1* este mapată cu prioritatea cea mai scăzută. De remarcat este faptul că pot fi grupate în aceeași categorie de trafic (*TC*) mai multe fluxuri de date.

Mecanismul de clasificare pe baza categoriilor de trafic poate fi perceput ca și o clasificare per-clase de trafic (vezi Capitolul 2 dedicat clasificării serviciilor QoS). Clasificările per-clase de trafic sunt implementate în modul EDCF (*Enhanced DCF*).

În Anexa 4.1 sunt prezentate categoriile de trafic implementate în IEEE 802.11e [IEEE.11e.05].

În vederea suportului de servicii QoS cantitative (caracterizate de parametrii QoS), IEEE 802.11e definește fluxurile de trafic TS (*Traffic Stream*).

La nivelul fiecărei stații sunt specificate opt categorii de fluxuri de trafic, fiecare flux având asociate specificațiile de trafic corespunzătoare TSPEC (*Traffic SPECification*). Dintre specificațiile de trafic ce însoțesc un anumit flux, sunt incluse:

- (1) specificarea dimensiunii pachetului;
- (2) rata de sosire;
- (3) întârzierile maxime admise;
- (4) variația maximă a întârzierilor;
- (5) politicile de confirmare.

Fiecare flux de date având specificate caracteristicile QoS cantitative este asociat unui anumit flux de trafic.

Clasificarea pe baza fluxurilor de trafic poate fi asociată clasificărilor per-flux (vezi Capitolul 2 dedicat clasificării serviciilor QoS). Clasificările per-fluxuri de trafic sunt implementate în modul HCF (*Hybrid Coordination Function*).

Observații:

1. *Analizând comparativ parametrii de caracterizare a fluxurilor de trafic specifice funcției de coordonare hibridă (HCF) în standard IEEE 802.11e și parametrii QoS ce descriu o aplicație în cadrul modelului I-NAME regăsim doi parametri comuni: rata de transfer și întârzierile maxime admise.*
2. *Dacă în cazul modului HCF de acces la resurse rolul parametrilor QoS este de agregare a traficului în fluxuri, în cazul modelului I-NAME, prin intermediul profilelor QoS parametrii de trafic individualizează fiecare aplicație în vederea asigurării unui suport QoS adaptiv pe traseul cap-la-cap.*

Accesul la canal și ordonarea pachetelor

Extensia QoS 802.11e asigură funcții MAC îmbunătățite care includ:

- (1) mecanisme de acces la canal și
- (2) mecanisme de ordonare a pachetelor.

IEEE 802.11e [IEEE.11e.05] definește cele două moduri de operare la nivel de strat MAC:

- (1) funcția de coordonare hibridă (HCF, *Hybrid Coordination Function*) și
- (2) funcția de coordonare distribuită îmbunătățită (EDCF, *Enhanced DCF*).

Asemănător standardului IEEE 802.11, recomandarea IEEE 802.11e propune două moduri de operare prin alternarea continuă a intervalelor fără disputare CFP (*Contention-Free Period*) cu cele cu disputare CP (*Contention Period*).

Modul EDCF poate fi utilizat doar pe durata intervalului CP (cu disputare), în timp ce modul HCF poate fi utilizat pe durata ambelor intervale (cu disputare și fără disputare).

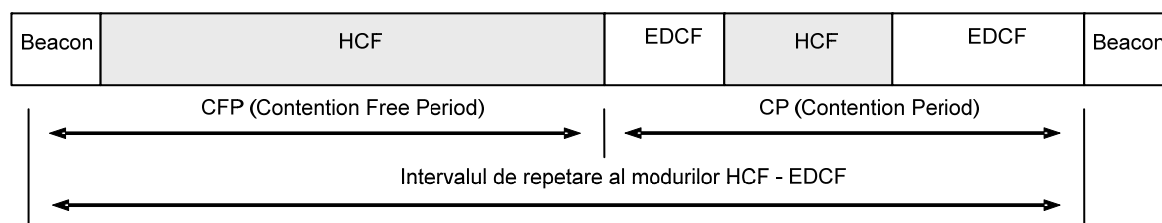


Figura 4.12 Alternarea modurilor de operare în cazul IEEE 802.11e

HCF combină modurile DCF și PCF, aducând îmbunătățiri ce permit implementarea mecanismului QoS prin funcții specifice QoS și câteva tipuri de cadre.

Aceste îmbunătățiri permit schimbul unui set de cadre folosite pentru implementarea QoS pe durata intervalelor CP și CFP. HCF utilizează o tehnică de disputare a accesului la mediu numită EDCF (DCF îmbunătățit).

IEEE 802.11e oferă suport și pentru o coordonare centralizată prin implementarea unui controler numit coordonator hibrid HC (*Hybrid Coordinator*) sau coordonator central PC (*Point Coordinator*) instalat la nivelul unui punct de acces AP (*Acces Point*).

4.2.6.2 Funcția de coordonare distribuită îmbunătățită (EDCF, Enhanced DCF)

EDCF asigură un acces diferențiat pentru cel mult opt categorii de priorități. Tehnica de acces la canal în cazul EDCF este CSMA/CA (cea utilizată și în cazul DCF), completată cu elemente de prioritate.

În cazul EDCF prioritatea este imprimată prin plasarea pachetelor în instanțe având posibilitate de accesare a mediului la momente de timp diferite. Aceste instanțe de întârziere a transmisiei (*backoff instances*) nu reprezintă altceva decât cozile de așteptare.

Timpul de așteptare în coadă este același pentru toate pachetele. Transmiterea pachetelor din cozi de așteptare diferite ($TC_0 - TC_7$) se realizează însă la momente diferite de timp, determinate de spațiile inter-cadru corespunzătoare fiecărei cozi de așteptare.

Astfel, putem spune că fiecare coadă de așteptare are setat un parametru de trafic specific. Parametrul de trafic specific fiecărei instanțe îl reprezintă spațiul inter-cadru de arbitraj AIFS (*Arbitration InterFrame Space*).

În faza de disputare a canalului (CP), fiecare coadă de așteptare ($TC_0 - TC_7$) dispută mediul de transmisie și declanșează în mod independent un proces de accesare a canalului de tipul CSMA/CA. Practic, disputarea canalului se face la detectarea mediului ca fiind liber doar între stațiile având setați aceiași timpi inter-cadru de arbitraj de tip AIFS.

Cea mai mică valoare pentru spațiul inter-cadru de arbitraj AIFS este valoarea DIFS, valoarea AIFS crescând corespunzător fiecărei clase de trafic TC. Datele plasate în cozi de așteptare având valori AIFS (intervale inter-cadru de arbitraj) mai mari, vor avea priorități mai scăzute la accesarea mediului de transmisie [Man03].

În acest fel prioritatea va fi dictată de valorile AIFS asociate cozilor de așteptare: datele având valori scăzute ale intervalului de așteptare AIFS vor accesa mediul wireless înaintea datelor pentru care valorile AIFS sunt mai mari.

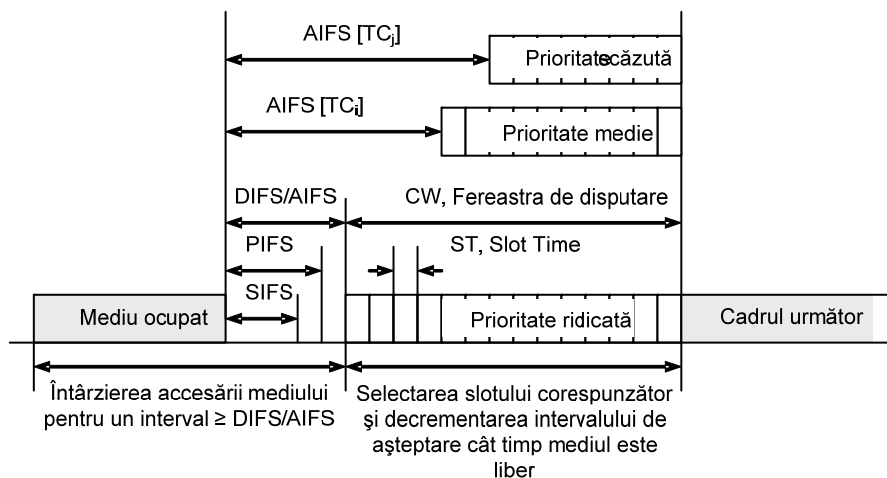


Figura 4.13 Spațiile inter-cadru în standard IEEE 802.11e EDCF

După ce fiecare stație QoS așteaptă expirarea intervalului AIFS, fiecare instanță setează un contor de așteptare la o valoare aleatoare mai mică decât a ferestrei de disputare (CW). Fiecare categorie de trafic (TC_i) are asociat ca și parametru o fereastră de disputare corespunzătoare (CW_i).

Pentru a avea compatibilitate cu standardul IEEE 802.11, valoarea intervalului AIFS este setată la valoarea intervalului DIFS. Asemănător modului DCF, la determinarea mediului wireless ca fiind ocupat înainte de ajungerea contorului la zero, instanța corespunzătoare va trebui să aștepte ca mediul să fie liber pentru un alt interval de timp AIFS.

Dacă o anumită transmisie nu are succes, dimensiunea ferestrei de disputare CW va fi setată la o nouă valoare în concordanță cu un factor de persistență PF (*Persistence Factor*). Factorul de persistență va determina ordinul funcției exponențiale de setare a dimensiunii ferestrei de disputare.

Astfel, parametrii cheie ce fac posibilă implementarea priorităților pentru fiecare categorie de trafic sunt: AIFS, CW și PF .

Stația QoS care transmite poate menține controlul asupra mediului de transmisie prin utilizarea intervalelor SIFS, în conjuncție cu mecanismul virtual de detectare a purtătoarei (NAV). În acest fel, stația ce deține controlul mediului poate transmite un număr de pachete ce vor apărea ca o singură transmisie pentru celelalte stații.

Așa cum a fost specificat anterior, o stație QoS are posibilitatea de a implementa până la opt cozi de așteptare corespunzătoare categoriilor de trafic (TC) prioritare.

Pentru cazul în care două sau mai multe categorii de trafic implementate la nivelul unei stații au decrementat contoarele la zero în același timp, vor fi selectate pentru transmisie pachetele din coada de așteptare asociate acelei categorii de trafic mai prioritare.

EDCF specifică în cadrul de tip *Beacon* durata maximă de transmisie $TXOP$ (*Transmission Opportunity*) permisă unei stații QoS. În acest fel este redusă probabilitatea de apariție a coliziunilor pentru transmisiile având aceeași prioritate. De asemenea, EDCF implementează mecanismul RTS/CTS definit în modul DCF.

Funcția de coordonare hibridă (HCF, Hybrid Coordination Function)

Funcția HCF definește criterii ce permit un control suplimentar al transmisiei comparativ cu funcția EDCF.

Modul HCF este alocată o anumită capacitate de transfer (*bandwidth*) și este indicat un moment al transferului ($TXOP$) prin intermediul coordonatorului hibrid HC (*Hybrid Coordinator*), cel care are prioritate maximă de acces la mediul de transmisie.

HCF utilizează un mecanism de interogare centralizat (*centralized polling*) asemănător modului PCF. Pe durata intervalului de disputare a mediului (CP), inițierea transferului se face în două moduri:

- (1) la momentul indicat ($TXOP$) conform regulilor stabilite de modul EDCF (AIFS plus intervalul de așteptare calculat), sau
- (2) după recepționarea din partea HC a unui cadru de interogare special de tip *QoS CF-Poll* (**QoS Contention-Free Poll**); coordonatorul central transmite cadrul *QoS CF-Poll* la expirarea intervalului PIFS.

Cadrul de tip *QoS CF-Poll* specifică parametrul $TXOP$, parametru ce indică momentul și durata intervalului în care stației îi este permisă transmisia.

Pe durata intervalului fără disputare a mediului (CFP), doar stației interogate îi este permis transferul. Perioada fără disputare (CFP) se încheie:

- (1) la un moment de timp specificat în cadrul de tip *Beacon*, sau
- (2) printr-un cadru special de tip *CF-End* transmis de către coordonatorul hibrid.

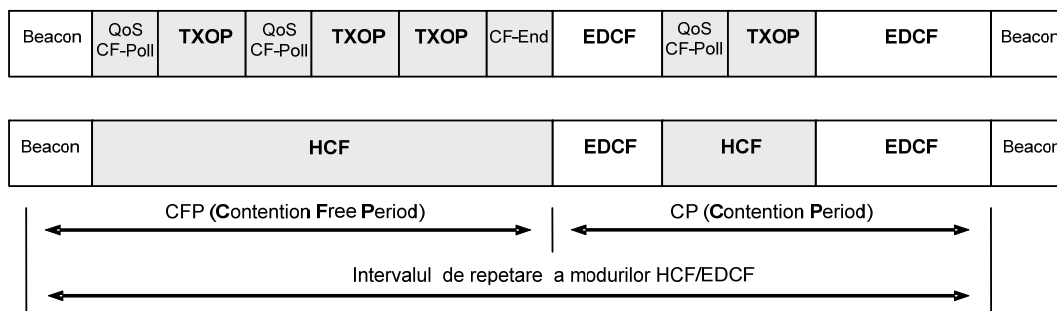


Figura 4.14 Alternarea modurilor HCF/EDCF

Pentru a asigura servicii QoS garantate (QoS parametric/parametrizat), modul HCF necesită implementarea unui sistem de semnalizări prin care coordonatorul central să fie informat cu privire la cerințele parametrice ale fiecărui flux de trafic.

Pe baza acestor informații, HC va determina parametrii TXOP ce trebuie asigurați (momentul și durata intervalului în care unei stații îi este permisă transmisia).

Parametrul TXOP este garantat pentru fiecare stație (*per-station*) fără a fi specificat care flux va fi transmis, selectarea fluxului de trafic prioritar fiind implementată la nivelul stației căreia îi este asigurat accesul.

Observație:

1. În cadrul procesului de comunicare a unei rețele wireless având la bază standardul IEEE 802.11 este definită o structură numită supercadru (*superframe*). Motivul introducerii acestei structuri este acela al echitabilității între modurile DCF/PCF și totodată al posibilității introducerii QoS.

4.2.7 Evaluarea performanței funcției de coordonare distribuită îmbunătățită EDCF, prin comparație cu funcția de coordonare distribuită DCF

Un prim pas în evaluarea performanței protocoalelor de acces la mediul de transmisie radio l-a constituit comparația parametrică QoS a funcției de coordonare distribuită îmbunătățită (EDCF) cu funcția de coordonare distribuită (DCF).

Mediul de simulare pentru realizarea acestor testări a fost simulatorul de rețele ns-2 (*network simulator-2*), versiunea ns-2.28 [ns-web].

Pentru a asigura suport mecanismului EDCF în standard IEEE 802.11e, a fost aplicat un patch versiunii de lucru a simulatorului [ns.11e-web].

Sursa utilizată a fost realizată la Universitatea Tehnică din Berlin (*Technical University Berlin*) pentru versiunea ns-2.26 a simulatorului, ca parte a proiectului CMU Monarch project [cmu-web].

Modul de instalare al fișierului patch, modificările aduse, adaptările necesare rulării pentru distribuția ns-28 a simulatorului și apoi procesul de recompilare sunt descrise de autor în cea de-a doua lucrare de referat din cadrul de pregătire a tezei [Pus05r2].

4.2.7.1 Setările parametrilor globali de configurare a scenariilor

Scenariul dezvoltat include o arhitectură mixtă radio-cablată. Există trei noduri fixe (notate 0, 1 și 2) și patru noduri mobile (notate 3, 4, 5 și 6). Întreg traficul dintre nodurile wireless este coordonat de către punctul de acces. Un prim set de teste realizate în acest scenariu au fost incluse și prezentate de autor prin intermediul lucrării [Pus05a].

Toate nodurile incluse în scenariul de analiză au o poziție fixă predefinită, în cadrul zonei pe care se desfășoară simularea. A fost aleasă pentru simulare o arie având suprafața de 670m x 670m. Canalul de comunicație a fost modelat prin intermediul relației lui Friis ($1/r^2$), unde r reprezintă raza maximă de transmisie a unui nod wireless.

Înălțimea antenelor a fost selectată având valoarea 1.5m, iar raza maximă de transmisie a fost setată prin intermediul parametrilor de la nivelul stratului fizic (câștigurile antenelor, puterea de transmisie, nivelul de sensibilitate al receptorului etc.) la valoarea de 200m pentru fiecare nod wireless. [Pus05e].

4.2.7.2 Setările parametrilor specifici de configurare a scenariilor

Scopul principal al simulărilor este acela de a evidenția diferența dintre modul în care mecanismele DCF și EDCF asigură suport QoS serviciilor rulate în rețea. Astfel, pentru scenariul ales, au fost imaginate două categorii majore de analize:

1. În primul scenariu sunt definite patru fluxuri de trafic ce sunt fost asociate unui nod wireless, simulând situația în care un utilizator rulează mai multe tipuri de aplicații în același timp. Au fost analizate cazurile în care aplicațiile rulate au fost sub capacitatea de transfer a canalului, respectiv peste capacitatea canalului. De asemenea, în aceeași configurație au fost diferențiate cazurile în care sursele aveau aceeași rată de transfer respectiv rate de transfer diferite.
2. În cel de-al doilea scenariu cele patru fluxuri de trafic sunt asociate celor patru noduri wireless implementând aceleași seturi de configurări ca și în cazul anterior. A fost analizat cazul în care avem mai mulți utilizatori în rețea, fiecare dintre aplicațiile rulate solicitând resurse în mod diferit la activarea mecanismului QoS în rețea.

Observații:

1. În cadrul analizelor cu simulatorul de rețele ns-2 se vor folosi noțiunile de nod mobil, nod wireless sau nod fix, noțiunea de nod substituind noțiunea de stație (STA) sau mașină de lucru, așa cum apare ea în specificațiile standardului IEEE 802.11.
2. Toate scenariile sunt însoțite de descrierea condițiilor de simulare, rezultatele simulărilor și reprezentarea grafică a rezultatelor obținute. Aceste aspecte sunt prezentate în detaliu în lucrarea [Pus05r2].
3. Modelarea aplicațiilor rulate în scenariile de analiză s-a făcut prin surse de tip CBR (Constant **Bit Rate**) deoarece acestea modelează cel mai bine comportamentul unei aplicații discriminate de componenta temporală (VoIP, VoD, radio IP etc).

Scenariile rulează cele patru aplicații între nodul sursă și nodul destinație alternând în mod succesiv modul DCF (fără suport QoS) cu modul EDCF (cu suport QoS). La rularea aplicațiilor cu suport QoS de tip EDCF, fiecărei surse de trafic îi este asociată o prioritate în rețea. Prioritatea minimă este marcată pe una din aplicațiile sursă cu valoarea 3, iar prioritatea maximă este marcată la o aplicație sursă prin valoarea 3.

Dimensiunea pachetelor în cazul aplicațiilor rulate a fost selectată la valoarea de 500 octeți, iar intervalele dintre pachetele emise a fost selectată în funcție de debitul dorit per aplicație.

4.2.7.3 Evaluarea performanței suportului QoS de tip EDCF în scenariile analizate

În primul scenariu am definit un nod sursă (SN, nod ID = 3) ce are atașate patru aplicații de trafic de tip CBR (*Constant Bit Rate*). Cele patru aplicații de la nivelul nodului wireless sursă (SN, nod ID = 3) sunt rulate către un nod destinație cablat (DN, nod ID = 1).

Întreg traficul dintre nodul sursă și nodul destinație este rutat prin punctul de acces (AP, nod ID = 0) și apoi prin nodul intermediar (nod ID = 0) [Pus05e]. Arhitectura scenariului testat este prezentată în Figura 4.15.

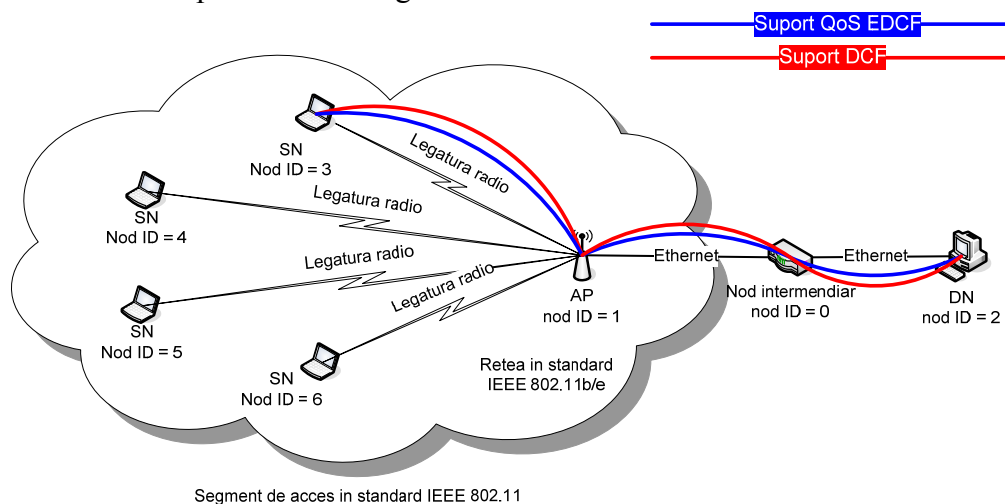


Figura 4.15 Rularea aplicațiilor între nodul sursă și nodul destinație pentru o rețea de acces în standard IEEE 802.11 cu suport DCF/EDCF

În mod alternativ, reprezentările tabelare și grafice prezintă rezultatele oferite în rețea prin mecanismele suport DCF respectiv EDCF.

Rezultatele simulărilor obținute în primul scenariu sunt sintetizate în Tabelul 4.2 și în Tabelul 4.3, iar reprezentările grafice sunt ilustrate în Figura 4.16 și în Figura 4.17.

Rularea aplicațiilor sursă cu suport DCF în primul scenariu				
Tipul aplicației	Intervalul dintre pachetele emise [ms]	Debitul aplicației la nodul sursă [Mbps]	Debitul aplicației la nodul destinație [Mbps]	Eficiența transmisiei [%]
CBR0	0.7	6	5.94	99.00
CBR1	0.7	6	2.65	44.16
CBR2	0.7	6	0	0
CBR3	0.7	6	0	0

Tabelul 4.2 Rezultatele obținute în cazul rulării aplicațiilor sursă în primul scenariu pentru mecanismul suport DCF

Observații:

1. Între parametrii de evaluare ai performanței mecanismelor testate a fost definit parametrul eficiență, o măsură ce indică în procente cât din cantitatea transmisă de la aplicația sursă a fost livrată la nodul destinație.
2. Rularea simultană a celor patru aplicații de test în nodul sursă depășește capacitatea maximă a debitului pe canalul radio utilizat. Pentru segmentul rețelei de acces radio testat, debitul maxim pe fiecare dintre legăturile wireless utilizate este de 11 Mbps, valoare maximă atinsă în cazul implementărilor în standard IEEE 802.11b.

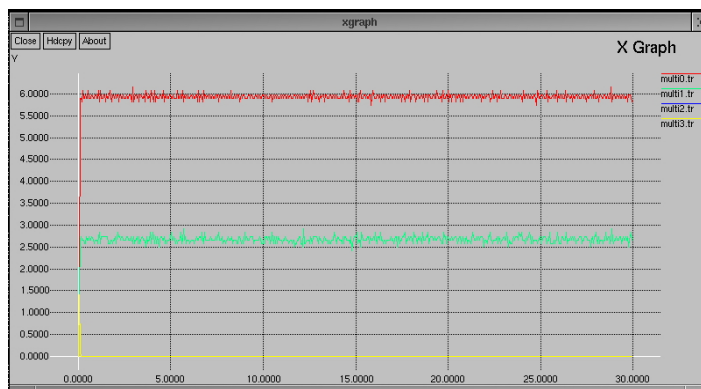


Figura 4.16 Reprezentarea grafică a debitului aplicațiilor la nodul destinație în cazul primului scenariu la rularea cu mecanismul suport DCF

Din analiza primului set de rezultate prezentate în Tabelul 4.2 se observă faptul că la rularea aplicațiilor în rețea cu mecanismul suport DCF, două dintre aplicațiile sursă nu reușesc să transmită către nodul destinație.

Astfel, se constată faptul că în mod arbitrar una dintre aplicații este favorizată, iar o altă aplicație reușește să transmită parțial către nodul destinație. Aceste lucruri pot fi observate și în reprezentarea grafică din Figura 4.16

Rularea aplicațiilor sursă cu suport EDCF în cazul primului scenariu				
Tipul aplicației	Intervalul dintre pachetele emise [ms]	Debitul aplicației la nodul sursă [Mbps]	Debitul aplicației la nodul destinație [Mbps]	Eficiența transmisiei [%]
CBR0 (prioritate ridicată)	0.7	6	4.5	75.00
CBR1	0.7	6	3.8	63.30
CBR2	0.7	6	1.3	21.60
CBR3 (prioritate scăzută)	0.7	6	0.34	5.60

Tabelul 4.3 Rezultatele obținute în cazul rulării aplicațiilor sursă în primul scenariu pentru mecanismul suport EDCF

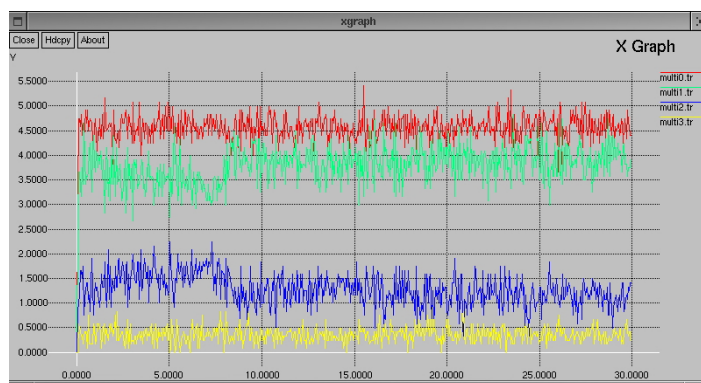


Figura 4.17 Reprezentarea grafică a debitului aplicațiilor la nodul destinație în cazul primului scenariu la rularea cu mecanismul suport EDCF

La rularea aplicațiilor de test în rețea cu mecanismul suport EDCF se observă efectul diferențierii traficului pe baza priorităților QoS impuse.

Dacă în cazul scenariului cu mecanism suport DCF ordinea transmisiilor este aleatoare, mecanismul suport EDCF oferă prioritate maximă aplicațiilor marcate prioritar în comparație cu aplicațiile marcate mai puțin prioritar.

Acest lucru este indicat de eficiența transmisiei sintetizată în Tabelul 4.3 și de ordonarea prioritară a debitelor ilustrată în Figura 4.17.

Mecanismul suport QoS de tip EDCF nu face doar o ordonare prioritară a transmisiilor ci crește și capacitatea totală transferată în rețea printr-o balansare eficientă a traficului.

Astfel, dacă în cazul utilizării mecanismului DCF două dintre aplicațiile sursă nu reușesc să transmită către nodul destinație, în cazul aplicării mecanismului EDCF toate cele patru surse transmit către nodul destinație.

În cel de-al doilea scenariu, fiecare nod wireless din segmentul de acces în standard IEEE 802.11 are atașată câte o aplicație de test. Astfel, aplicații de tip CBR (*Constant Bit Rate*) sunt rulate simultan dinspre nodurile sursă (SNs, nod ID = 3, 4, 5, 6) către nodul destinație cablat (DN, nod ID = 1).

Ca și în cazul primului scenariu, întregul trafic transmis de către nodul sursă către nodul destinație este transferat prin punctul de acces (AP, nod ID = 0) și apoi prin nodul intermediar (nod ID = 0) [Pus05e].

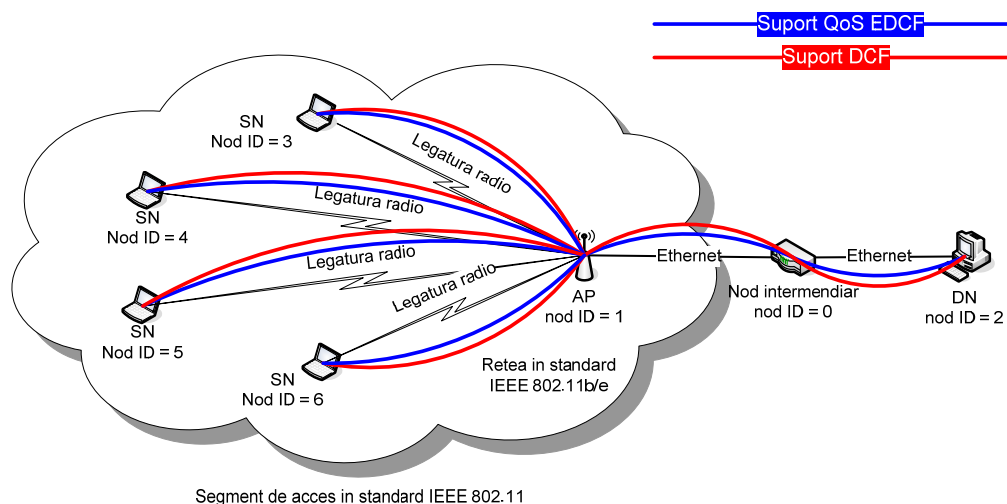


Figura 4.18 Rularea aplicațiilor între nodul sursă și nodul destinație pentru o rețea de acces în standard IEEE 802.11 cu suport DCF/EDCF

În mod alternativ, reprezentările tabelare și grafice prezintă rezultatele oferite în rețea prin mecanismele suport DCF respectiv EDCF.

Rezultatele simulărilor obținute în cel de-al doilea scenariu sunt sintetizate în Tabelul 4.4 și în Tabelul 4.5, iar reprezentările grafice sunt ilustrate în Figura 4.19 și în Figura 4.20.

Din analiza rezultatelor prezentate în Tabelul 4.4 se observă faptul că la rularea aplicațiilor în rețea cu mecanismul suport DCF, toate aplicațiile sursă reușesc să transmită către nodul destinație dar nu în mod integral.

Rularea aplicațiilor sursă cu suport DCF în cel de-al doilea scenariu				
Tipul aplicației	Intervalul dintre pachetele emise [ms]	Debitul aplicației la nodul sursă [Mbps]	Debitul aplicației la nodul destinație [Mbps]	Eficiența transmisiei [%]
CBR0	4.160	1	0.20	20.00
CBR1	2.080	2	1.65	82.50
CBR2	1.386	3	2.70	90.00
CBR3	1.040	4	4.00	100

Tabelul 4.4 Rezultatele obținute în cazul rulării aplicațiilor sursă în cel de-al doilea scenariu pentru mecanismul suport DCF

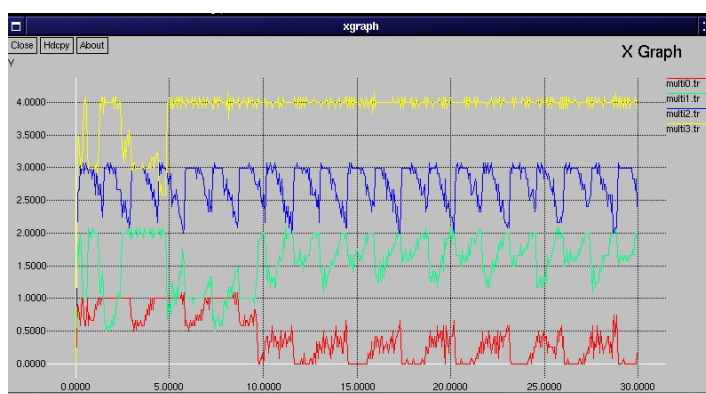


Figura 4.19 Reprezentarea grafică a debitului aplicațiilor la nodul destinație în cazul celui de-al doilea scenariu la rularea cu mecanismul suport DCF

Utilizarea tehnicii de acces CSMA/CA și a modului DCF oferă acces echitabil tuturor nodurilor wireless din segmentul de acces. În cazul scenariului dat, valorile diferite ale intervalelor dintre pachetele transmise de aplicațiile sursă vor favoriza aplicația al cărei interval dintre pachetele emise este minim.

Astfel, se constată faptul că pentru arhitectura de scenariu selectată, sunt favorizate în vederea transmisiei nodurile wireless cu debitele aplicațiilor de test cele mai ridicate. Cu alte cuvinte, resursa radio este ocupată de aplicația de test având cel mai frecvent acces la canal.

Rularea aplicațiilor sursă cu suport EDCF în cel de-al doilea scenariu				
Tipul aplicației	Intervalul dintre pachetele emise [ms]	Debitul aplicației la nodul sursă [Mbps]	Debitul aplicației la nodul destinație [Mbps]	Eficiența transmisiei [%]
CBR0 (prioritate ridicată)	4.160	1	1	100
CBR1	2.080	2	2	100
CBR2	1.386	3	3	100
CBR3 (prioritate scăzută)	1.040	4	4	100

Tabelul 4.5 Rezultatele obținute în cazul rulării aplicațiilor sursă în cel de-al doilea scenariu pentru mecanismul suport EDCF

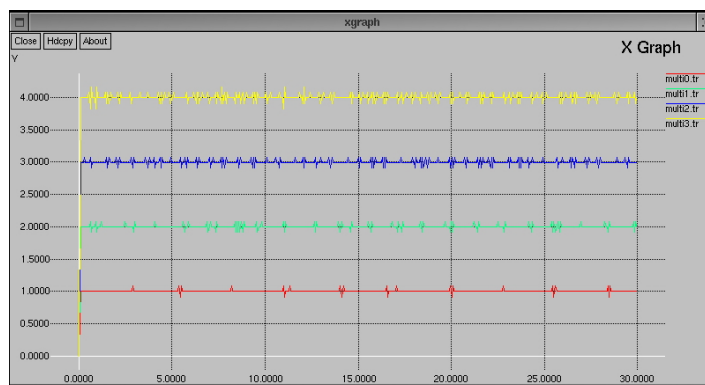


Figura 4.20 Reprezentarea grafică a debitului aplicațiilor la nodul destinație în cazul celui de-al doilea scenariu la rularea cu mecanismul suport EDCF

La rularea aplicațiilor de test în rețea cu mecanismul suport EDCF, pe lângă efectul diferențierii traficului pe baza priorităților QoS impuse se observă și faptul că stațiile wireless sursă transferă în mod integral informația către nodul destinație.

Ca și în cazul primului scenariu, mecanismul suport QoS de tip EDCF nu face doar o ordonare prioritară a transmisiilor, ci crește și capacitatea totală transferată în rețea printr-o balansare eficientă a traficului.

Dacă în cazul suportului DCF ordinea accesării canalului pentru scenariul dat era în funcție de intervalul dintre pachetele emise, prin mecanismul suport EDCF se oferă prioritate maximă aplicațiilor marcate mai prioritar în comparație cu aplicațiile marcate mai puțin prioritar.

De asemenea, dacă în cazul utilizării mecanismului DCF trei dintre aplicațiile sursă nu reușesc să transmită în mod integral informația utilă către nodul destinație, în cazul aplicării mecanismului EDCF toate cele patru surse transmit integral către nodul destinație.

Concluzii

Evaluarea performanței tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio la nivelul stratului legături de date prin mecanismele DCF și EDCF evidențiază avantajele utilizării suportului QoS în cazul utilizării extensiei IEEE 802.11e.

Pentru a evalua și demonstra acest lucru, a fost adăugat extensia QoS de tip EDCF în cadrul simulatorului ns-2.28 sub forma unui patch. [Pus05h]

Pe lângă concluziile evidențiate în dreptul fiecărui scenariu analizat, extragem următoarele concluzii globale:

- (1) eficiența transmisiei crește în cazul utilizării mecanismului suport QoS de tip EDCF în comparație cu mecanismul DCF;
- (2) impunerea priorităților de trafic permite un transfer informațional ridicat pentru datele marcate prioritar;
- (3) mecanismul suport QoS de tip EDCF asigură o echilibrare/balansare a traficului, realizând o alocare optimă a resurselor disponibile.

4.2.8 Mecanismul de acces la canal în mod distribuit îmbunătățit (EDCA, Enhanced Distributed Channel Access) și mecanismul de acces la canal controlat printr-un coordonator hibrid (HCCA, HCF Controlled Channel Access)

Standardul original IEEE 802.11 [IEEE.11.97] [IEEE.11.99] nu oferă suport QoS pentru aplicațiile multimedia. În consecință, IEEE a depus un efort considerabil în această direcție, efort concretizat în standardul IEEE 802.11e [IEEE.11e.01] [IEEE.11e.05].

Varianta inițială a standardului IEEE 802.11e [IEEE.11e.01] a fost îmbunătățită, ultima extensie [IEEE.11e.05] fiind introdusă în versiunea integratoare a recomandărilor aprobate pentru standardul IEEE 802.11 [IEEE.11.07].

Cea de-a doua fază de dezvoltare a suportului QoS în rețele de acces wireless locale [IEEE.11e.05], integrată ulterior în specificațiile standardului IEEE 802.11-2007 [IEEE.11.07], este caracterizată de următorul set de funcționalități:

- (1) redefinirea entităților ce oferă suportul QoS (QoS AP și QoS STA);
- (2) introducerea mecanismelor QoS pe bază de disputare a accesului la canal EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*), respectiv de control al accesului la canal HCCA (*HCF Controlled Channel Access*);
- (3) managementul resurselor;
- (4) definirea unui nou set de cadre QoS specifice suportului QoS.

Suportul QoS integrat al standardului IEEE 802.11 definește așa numita funcție de coordonare hibridă HCF (*Hybrid Coordination Function*). Funcția HCF include două mecanisme de acces la mediul de transmisie cu suport QoS:

- (1) mecanismul de acces la canal distribuit îmbunătățit EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*), mecanism ce operează pe intervalele cu disputarea canalului de transmisie, și
- (2) mecanismul de acces la canal controlat printr-o funcție de coordonare hibridă HCCA (*HCF Controlled Channel Access*), mecanism ce operează pe intervalele controlate de un coordonator hibrid (punctul de acces).

Printr-un coordonator hibrid (HC) înțelegem capacitatea punctului de acces QoS (*QoS AP*) de a accesa mediul de transmisie atât pe intervalul cu disputare (CP) cât și pe intervalul fără disputare (CFP) [Qia05].

În consecință, mecanismele QoS în standard IEEE 802.11 păstrează structura supercadru (*superframe*), EDCA operând numai pe durata cu disputare a mediului (CP) în timp ce HCCA poate accesa mediul de transmisie pe durata ambelor intervale (CP și CFP) așa cum sunt prezentate în Figura 4.21.

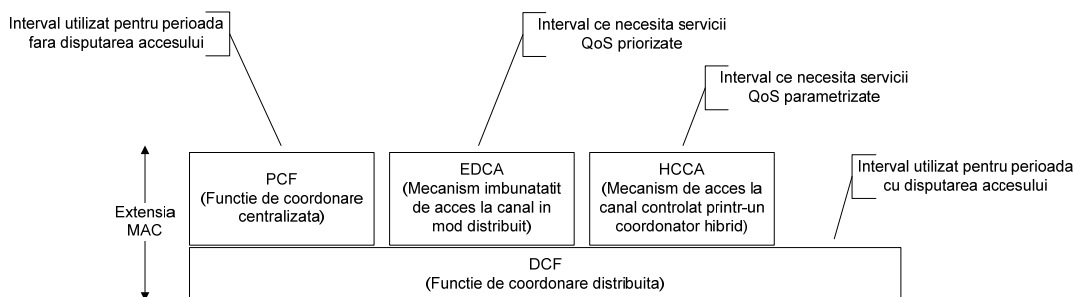


Figura 4.21 Arhitectura extensie MAC în standard IEEE 802.11 cu suport QoS

Cele două mecanisme QoS îmbunătățesc sau extind setul de funcționalități ale metodelor originale de acces [IEEE.11.99], descris prin funcția de coordonare distribuită (*DCF*) și funcția de coordonare centralizată (*PCF*).

Astfel, standardul IEEE 802.11 cu suport QoS [IEEE.11.07] nu mai distinge două funcții QoS, ca în cazul IEEE 802.11e [IEEE.11e.05], ci o singură funcție HCF ce integrează două mecanisme QoS: EDCA (mecanism având control distribuit în rețea) și HCCA (mecanism având control centralizat).

4.2.8.1 Mecanismul EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*)

Mecanismul EDCA, cunoscut sub numele de acces distribuit la canal pe bază de disputare, oferă un acces QoS diferențiat la mediul de transmisie.

În vederea asigurării suportului QoS, mecanismul EDCA definește categoriile de acces AC (*Access Category*), clase de diferențiere ale serviciilor în rețea. La nivelul fiecărei stații cu suport QoS (*QSTA*) pot fi definite patru categorii de acces ce suportă până la opt nivele de prioritate utilizator UPs (*User Priorities*), așa cum sunt prezentate în Tabelul 4.6.

Una sau mai multe priorități utilizator (*UPs*) sunt asociate unei categorii de acces (*AC*). O stație accesează mediul de transmisie funcție de categoria de acces în care a fost clasificat cadrul ce urmează a fi transmis [Dey08].

Fiecare categorie de acces reprezintă o variantă îmbunătățită a funcției originale DCF definită în standardul IEEE 802.11 [IEEE.11.07].

Maparea priorităților utilizator în standard IEEE 802.1D și corespondența categoriilor de acces în standard IEEE 802.11 cu tipul aplicației			
Prioritate	Prioritate utilizator (UPs) în standard IEEE 802.1D	Categorie acces (AC) în standard IEEE802.11E	Tipul aplicației
Prioritate scăzută	1	0	Best effort
	2	0	Best effort
	0	0	Best effort
	3	1	Video
Prioritate ridicată	4	2	Video
	5	2	Video
	6	3	Voce
	7	3	Voce

Tabelul 4.6 Corespondența între prioritățile utilizator în standard IEEE 802.1D, categoriile de acces în standard IEEE 802.11 și tipul aplicației

Categoriile de acces își dispută oportunitățile de transmisie (*TXOPs*) pe baza următorului set de parametri EDCA:

- (1) valoarea minimă a ferestrei de disputare (*CW*) corespunzătoare categoriei de acces (*AC*) date (*CW_{min} [AC]*): *CW_{min}* ia valori diferite pentru AC diferite; prin asocierea unor valori minime alocate *CW* se asigură oportunități de transmisie ridicate claselor de servicii prioritare;
- (2) valoarea maximă a ferestrei de disputare (*CW*) corespunzătoare categoriei de acces (*AC*) date (*CW_{max} [AC]*): similar *CW_{min}*, *CW_{max}* ia valori în funcție de categoria de AC; valoarea maximă a *CW* determină o prioritate minimă asociată serviciului clasificat;

(3) spațiul inter-cadru de arbitrare (*AIFS [AC]*): fiecare AC declanșează procedura de decrementare a contorului de întârziere a transmisiei (decrementare virtuală) după ce canalul este liber (detectare fizică) pentru un interval dat de *AIFS [AC]*;

$$AIFS [AC] = SIFS + AIFSN [AC] * ST \quad (4.11)$$

(4) oportunitățile de transmisie asociate unei categorii de acces (*TXOPlimit [AC]*): oportunitățile de transmisie specifice EDCA sunt numite EDCA-TXOPs; pe durata unei oportunități de transmisie o stație poate transmite un număr multiplu de cadre de date din aceeași categorie de acces, cadre separate prin intervale SIFS ce urmează confirmărilor pozitive ACK.

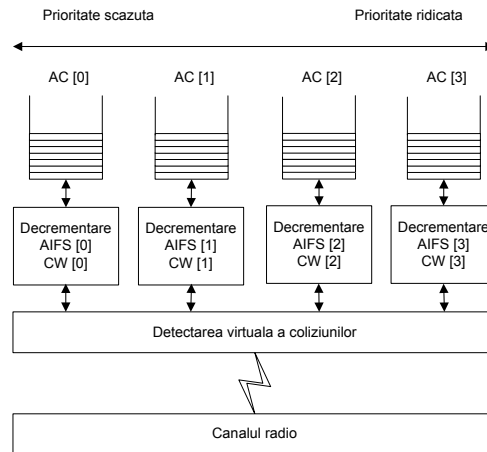


Figura 4.22 Setul de parametri specifici mecanismului EDCA

O categorie de acces prioritară corespunde unei ferestre de disputare de dimensiune scăzută astfel încât serviciile asociate categoriei de acces prioritară vor fi transmise înaintea celor mai puțin prioritare.

Acest lucru este realizat prin setarea parametrilor *CWlimit*, *CWmin [AC]* și *CWmax [AC]* specifici fiecărei categorii de acces [Dey05].

Contorul de decrementare al intervalelor de transmisie RBT (*Random Backoff Timer*) este un număr aleator din intervalul $(1, CW [AC] + 1)$, iar fiecare instanță de decrementare este parametrizată de categoriile de trafic (*TC*) corespunzător asociate.

Limitele intervalelor ferestrei de disputare (*CW*) și intervalele inter-cadru de arbitrare specifice (*AIFS*) diferitelor categorii de acces QoS sunt prezentate în Tabelul 4.7.

Setul de parametri EDCA			
AC	CWmin	CWmax	AIFS
0	CW min	CW max	7
1	CW min	CW max	3
2	$[(CW \text{ min} + 1)/2] - 1$	CW min	2
3	$[(CW \text{ min} + 1)/4] - 1$	$[(CW \text{ min} + 1)/2] - 1$	2

Tabelul 4.7 Valorile *CWmin*, *CWmax* și *AIFS* asociate categoriilor de acces EDCA în vederea diferențierii serviciilor și asigurării suportului QoS

4.2.8.2 Mecanismul HCCA (HCF Controlled Channel Access)

Pe bază de interogări, mecanismul HCCA asigură suport QoS, garantând accesul la canal pentru fluxurile de trafic descrise prin intermediul parametrilor QoS.

Mecanismul de acces la canal HCCA este controlat centralizat printr-o funcție de coordonare hibridă implementată la nivelul coordonatorului hibrid HC. Funcțiile coordonatorului hibrid (HC) sunt colocate cu cele ale punctului de acces QoS (QAP).

Astfel, punctul de acces QoS (QAP) utilizează prioritățile de acces la canalul radio pentru a iniția schimbul de mesaje și pentru a transmite modul de alocare al oportunităților de transmisie stațiilor QoS (QSTA) [Sir06].

Intervalele delimitate de oportunitățile de transmisie TXOP oferă stațiilor QoS posibilitatea transmisiei fără disputarea canalului radio. Intervalul de operare al modului HCCA se încheie într-una din cele două situații:

- (1) stația QoS (QSAT) sau coordonatorul hibrid (HC) nu mai au niciun cadru de transmis, sau
- (2) a expirat durata oportunității de transmisie (TXOP).

4.2.9 Evaluarea performanței mecanismului îmbunătățit de acces la canal în mod distribuit EDCA prin comparație cu funcția de coordonare distribuită DCF

La fel ca și în cazul funcției EDCF, performanța mecanismul EDCA este evaluată prin comparație cu funcția DCF, funcție de bază implementată într-un sistem IEEE 802.11.

Mediul de simulare și testare utilizat în evaluarea mecanismului EDCA a fost simulatorul de rețele QualNet Developer 4.0.

Cum modelul I-NAME, model QoS inter-sistem propus de această lucrare, este implementat în simulatorul de rețele QualNet Developer, o descriere amănunțită a structurii simulatorului, a modului de lucru și a specificului în configurare poate fi găsită în partea dedicată integrării modelului dezvoltat în simulator.

Observații:

1. Simulările realizate în acest capitol au fost realizate cu versiunea 4.0 a simulatorului QualNet Developer, modelul I-NAME fiind inițial dezvoltat pentru versiunea 4.0 și ulterior modificat pentru versiunea 4.5.
2. În cadrul comunității științifice în domeniu sunt recunoscute trei simulatoare de rețele mai importante: network simulator (ns-2) [ns-web], QualNet [qualnet-web] și OPNET [opnet-web].
3. Avantajul major în utilizarea simulatorului de rețele QualNet este licența simulatorului ce permite accesul la un suport modular diversificat al tehnologiilor actuale.
4. Versiunea academică a simulatorului QualNet este simulatorul de rețele GloMoSim [glomom-web]. Simulatorul GloMoSim are aceeași structură ca și simulatorul QualNet.
5. Experiența lucrului cu aceste simulatoare a fost valorificată de autor în special în cadrul laboratoarelor de Sisteme Wireless unde sunt evaluate performanțele tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio utilizând GloMoSim.

4.2.9.1 Setările parametrilor globali de configurare a scenariilor

Pentru a compara efectul unui suport QoS diferențiat prin intermediul parametrilor AIFS, CW și AC, parametrii specifici mecanismului EDCA, au fost realizate două categorii de scenarii de evaluare:

1. În primul scenariu am simulat o arhitectură de tip ad-hoc în standard IEEE 802.11 [IEEE.11.07] cu suport QoS de tip EDCA. Au fost simulate conexiuni individuale între opt noduri sursă și un nod destinație.
2. În cel de-al doilea scenariu am simulat o arhitectură de tip infrastructură în standard IEEE 802.11 cu suport QoS de tip EDCA. Au fost setate patru fluxuri de trafic între noduri sursă și destinație pereche, întregul trafic fiind rutat printr-un punct de acces intermediar.

Ca și în cazul simulatorului de rețele ns-2, simulatorul QualNet are o structură stratificată conform modelului ISO/OSI.

Tabelul 4.8 și Tabelul 4.9 prezintă parametrii globali de configurare ai simulatorului setați la nivelul fiecărui strat al rețelei pentru cele două scenarii de analiză.

Parametrii globali de configurare ai simulatorului	
Nivelul de configurare	Modelul utilizat
Aplicația sursă	CBR
Protocolul transport	UDP
Protocolul rețea	IPv4
Protocolul de rutare	AODV
Protocolul de acces la mediu	IEEE 802.11/802.11e
Tehnica de transmisie	DSSS
Modelul de propagare	Free-Space

Tabelul 4.8 Parametrii de configurare ai simulatorului în vederea evaluării performanței mecanismului EDCA

Parametrii de configurare ai aplicațiilor de test rulate	
Parametrul de configurare	Modelul utilizat
Dimensiunea pachetului [octeți]	150
Numărul de pachete transmise	1000
Intervalul dintre pachete [s]	0.1
Debitul aplicației sursă [Mbps]	1.2

Tabelul 4.9 Parametrii de configurare ai aplicațiilor de test la evaluarea mecanismului EDCA

4.2.9.2 Setările parametrilor specifici de configurare a scenariilor

În cadrul scenariilor analizate, setul de parametrii specifici EDCA a fost alocat conform valorilor implementate în echipamentele Cisco (*Cisco 4400 Series Wireless LAN Controllers* and *Cisco Aironet Access Points 1200 Series*) [cisco-web]. Setările parametrilor specifici de configurare sunt prezentate în Tabelul 4.10.

Setul de parametri specifici EDCA			
AC	CWmin	CWmax	AIFS
AC [0] - AC_BK (Background)	31	1023	7
AC [1] - AC_BE (Best Effort)	31	1023	3
AC [2] - AC_VI (Video)	15	31	2
AC [3] - AC_VO (Voce)	7	15	2

Tabelul 4.10 Parametrii specifici de configurare EDCA conform *Cisco Aironet 1200 Series*

Asigurarea suportului QoS prin mecanismul de tip EDCA, într-o rețea cu acces radio, are la bază prioritizarea traficului corespunzător clasificărilor de la straturile superioare.

Rețelele în tehnologie *Cisco Unified Wireless Networking* permit marcarea traficului la stratul rețea prin intermediul parametrilor de tip DSCP (*Differentiated Services Code Point*).

Pe baza acestor clasificări, controlerele WLAN (*WLC, Wireless LAN Controller*) sau punctele de acces autonome asigură impunerea priorităților la nivelul stratului de acces la mediu și apoi transmiterea ordonată a cadrelor pe canalul radio.

Pentru a menține clasificările QoS originale în rețea, setările QoS de la nivel de strat rețea (*IP DSCP/ IP Precedence*) trebuie în continuare mapate corespunzător prin parametrii de strat legături de date (*IEEE 802.1p UP*, respectiv *IEEE 802.11e*).

Tabelul 4.11 prezintă procesul de translație între valorile IP DSCP și IEEE 802.1p UP/IEEE 802.11e UP în vederea menținerii priorităților QoS impuse.

Deoarece într-o arhitectură Cisco de tip AVVID (*Cisco Architecture for Voice, Video and Integrated Data*) sunt definite translațiile de la formatul IEEE 802.1p UP la IP DSCP, iar standardul IEEE definește translațiile de la formatul IP DSCP la IEEE 802.11e UP, sunt necesare două seturi de astfel de translații.

Suplimentar, prin simulare, în cadrul scenariilor analizate au fost demonstrate aceste categorii de translații.

Marcarea prioritară a traficului la nivel de strat rețea și acces la mediul de transmisie			
Tipul de trafic	Cisco AVVID IP DSCP/Precedence	Cisco AVVID 802.1p UP	IEEE 802.11e
Controlul rețelei	-	7	-
Voce	48	6	7 (AC_VO)
Voce	46	5	6 (AC_VO)
Video	34	4	5 (AC_VI)
Controlul vocii	26	3	4 (AC_VI)
Best Effort	0	0	3 (AC_BE)
Background	18	2	2 (AC_BK)
Background	10	1	1 (AC_BK)

Tabelul 4.11 Setul de translații între valorile IEEE 802.11e/IEEE 802.1p UP și IP DSCP conform CUWN (*Cisco Unified Wireless Networking*)

4.2.9.3 Evaluarea performanței suportului QoS de tip EDCA în scenariile analizate

În primul scenariu de analiză, pentru a evidenția efectul QoS într-o rețea de tip ad-hoc cu suport EDCA, a fost dezvoltată o arhitectură de rețea cu opt noduri wireless de emisie (nod ID = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) și un nod wireless de recepție (nod ID = 9).

Cum efectul clasificărilor QoS nu are un impact semnificativ decât în mediile radio cu trafic ridicat, au fost setate opt conexiuni individuale de trafic către un nod wireless de recepție. În felul acesta, încărcarea mediului radio către nodul destinație este maximă, depășind capacitatea canalului de recepție.

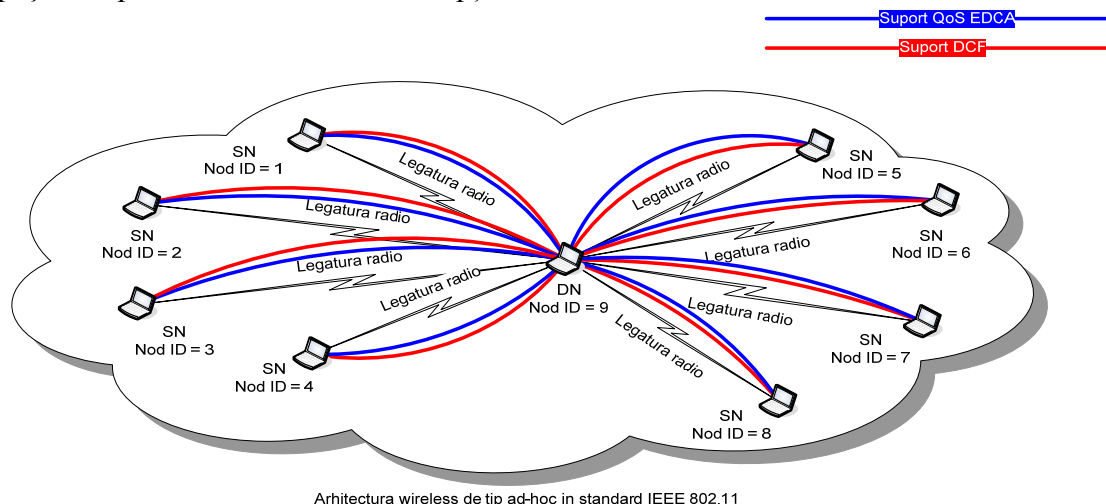


Figura 4.23 Rularea aplicațiilor de test între nodul sursă și nodul destinație pentru o arhitectură de tip ad-hoc în standard IEEE 802.11 cu suport DCF/EDCA

Evaluarea performanței mecanismului suport EDCA (IEEE 802.11e) comparativ cu mecanismul DCF (IEEE 802.11) a fost pusă în evidență prin trei seturi de simulări.

În mod succesiv, traficul uneia din cele opt aplicații de test rulate în rețea a fost marcat prioritar în mod succesiv cu următoarele valori ale câmpului precedență IP (*IP Precedence*): 0, 3 și 6. Celelalte aplicații de test rulate în rețea modelează o încărcare a rețelei. Parametrii QoS specifici de configurare ai mecanismului EDCA și rezultatele simulărilor cu parametrii QoS evaluați sunt prezentate în tabelele următoare.

Correspondența între prioritățile asociate la nivel de rețea și mapările la nivel de strat acces la mediu pentru marcarea unei aplicații de test cu precedență IP = 0 (topologie de tip ad-hoc)

Prioritate la nivel de strat acces la mediu (strat 2)		Prioritate la nivel de strat rețea (strat 3)		Parametrii QoS evaluați			
Standard	Categorie de acces	DSCP	Precedență IP	Întârziere [s]	Jitter [s]	Primul pachet recepționat [s]	Ultimul pachet recepționat [s]
IEEE 802.11	-	-	-	0.011442	0.012699	10.013510	109.915631
				0.011632	0.013312	10.027439	109.917903
				0.011247	0.012140	10.041287	109.921461
				0.011257	0.012828	10.100162	109.906585
				0.011431	0.012052	10.116236	109.913346
				0.011443	0.013380	10.055155	109.904090
				0.011606	0.012409	10.068984	109.911104
IEEE 802.11e	AC[0]	0	0	0.011631	0.012786	10.086293	109.908833

Tabelul 4.12 Rularea unei aplicații de test cu suport QoS de tip AC [0] (topologie ad-hoc)

Correspondența între prioritățile asociate la nivel de rețea și mapările la nivel de strat acces la mediu pentru marcarea unei aplicații de test cu precedență IP = 3 (topologie de tip ad-hoc)							
Prioritate la nivel de strat acces la mediu (strat 2)		Prioritate la nivel de strat rețea (strat 3)		Parametrii QoS evaluați			
Standard	Categorie de acces	DSCP	Precedență IP	Întârziere [s]	Jitter [s]	Primul pachet recepționat [s]	Ultimul pachet recepționat [s]
IEEE 802.11	-	-	-	0.012252	0.011436	10.027304	109.917964
				0.012533	0.011968	10.041233	109.906531
				0.012252	0.011544	10.055081	109.908818
				0.012182	0.011121	10.100148	109.902037
				0.012425	0.011441	10.124659	109.913311
				0.012169	0.011356	10.068949	109.911064
IEEE 802.11e	AC[2]	24	3	0.012398	0.011271	10.086158	109.915638
				0.003167	0.003289	10.013450	109.904185

Tabelul 4.13 Rularea unei aplicații de test cu suport QoS de tip AC [2] (topologie ad-hoc)

Correspondența între prioritățile asociate la nivel de rețea și mapările la nivel de strat acces la mediu pentru marcarea unei aplicații de test cu precedență IP = 6 (topologie de tip ad-hoc)							
Prioritate la nivel de strat acces la mediu (strat 2)		Prioritate la nivel de strat rețea (strat 3)		Parametrii QoS evaluați			
Standard	Categorie de acces	DSCP	Precedență IP	Întârziere [s]	Jitter [s]	Primul pachet recepționat [s]	Ultimul pachet recepționat [s]
IEEE 802.11	-	-	-	0.012279	0.011390	10.027304	109.911263
				0.012381	0.011361	10.041233	109.914447
				0.012254	0.010927	10.055081	109.922161
				0.012445	0.011051	10.100148	109.904364
				0.012511	0.011716	10.124659	109.918090
				0.012476	0.011070	10.068949	109.908958
IEEE 802.11e	AC[3]	48	6	0.012603	0.011498	10.086158	109.906672
				0.002219	0.000850	10.013450	109.902058

Tabelul 4.14 Rularea unei aplicații de test cu suport QoS de tip AC [3] (topologie ad-hoc)

Efectul priorităților introduse prin mecanismul EDCA comparativ cu mecanismul DCF îl putem observa din analiza parametrilor QoS evaluați: întârziere de transmisie cap-la-cap, jitter, timpul de recepție al primului și al ultimului pachet transmis.

O reprezentare grafică comparativă a întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap pentru cele trei categorii de acces funcție de suportul EDCA/DCF oferit în scenariul de tip ad-hoc este ilustrată în Figura 4.24.

Marcarea neprioritară a aplicației de test prin încadrarea în categoria de acces AC [0] de tip *Background* determină un comportament al traficului asemănător cu cel *Best Effort*.

Odată cu creșterea gradului de prioritate asociat aplicației de test (AC [2] sau AC [3]), valorile medii ale întârzierilor de transmisie cap-la-cap, ale jitter-ului și ale duratei transmisiei sunt semnificativ reduse în cazul marcării traficului prin intermediul mecanismului EDCA.

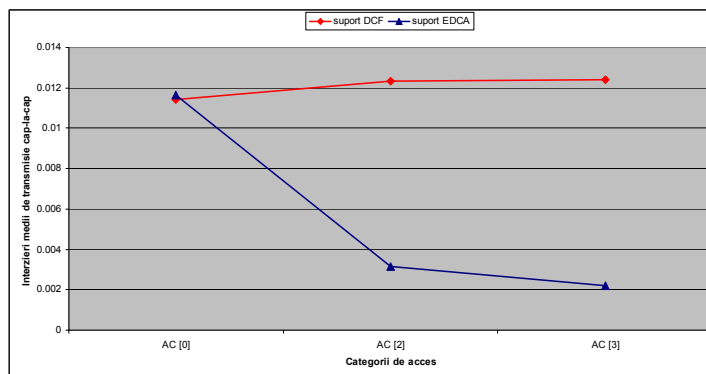


Figura 4.24 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap funcție de categoriile de acces EDCA în topologie de tip ad-hoc

Este de remarcat totodată faptul că introducerea priorităților de trafic defavorizează fluxurile neprioritare în funcție de gradul de prioritate asociat aplicației de test: astfel, cu cât nivelul de prioritate asociat unei aplicații este mai ridicat, cu atât valorile parametrilor ce caracterizează traficul neprioritar se degradează.

În cel de-al doilea scenariu, evaluarea performanței mecanismului EDCA (în standard IEEE 802.11e) cu suport QoS a fost realizată pentru o topologie de tip infrastructură așa cum este prezentată în Figura 4.24.

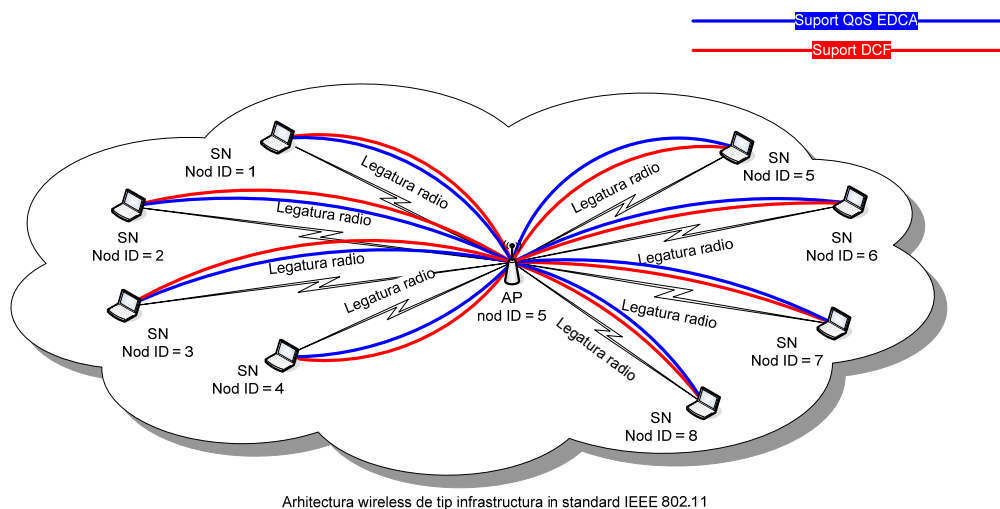


Figura 4.24 Rularea aplicațiilor de test între nodul sursă și nodul destinație pentru o arhitectură de tip ad-hoc în standard IEEE 802.11 cu suport DCF/EDCA

Arhitectura de test de tip infrastructură include opt noduri wireless și un punct de acces (AP/IEEE 802.11) / coordonator hibrid (HC/QAP/IEEE 802.11e).

Au fost setate patru fluxuri de trafic ce sunt transmise de la patru noduri wireless sursă (nod ID = 1, 2, 3, 4) către patru noduri wireless destinație (nod ID = 5, 6, 7, 8).

Întregul trafic între nodurile sursă și nodurile destinație este rutat prin intermediul AP/HC (nod ID = 9). Setările parametrilor de configurare ai simulatorului pentru aplicațiile de test rulate sunt descrise în Tabelul 4.8 și Tabelul 4.9.

La fel ca și în cazul primului scenariu, evaluarea performanței mecanismului suport EDCA (în standard IEEE 802.11e), comparativ cu mecanismul DCF (în standard IEEE 802.11), a fost pusă în evidență prin trei seturi de simulări.

Astfel, pentru arhitectura de tip infrastructură, traficul uneia din cele patru aplicații de test a fost marcat prioritar succesiv cu următoarele valori ale câmpului precedență IP din antetul IPv4: 0, 3 și 6. Restul aplicațiilor de test au fost rulate pentru a modela o încărcare suplimentară a rețelei.

Parametrii QoS specifici de configurare ai mecanismului EDCA și rezultatele simulărilor cu parametrii QoS evaluați sunt prezentați în tabelele următoare.

Correspondența între prioritățile asociate la nivel de rețea și mapările la nivel de strat acces la mediu pentru marcarea unei aplicații de test cu precedență IP = 0 (topologie de tip infrastructură)							
Prioritate la nivel de strat acces la mediu (strat 2)		Prioritate la nivel de strat rețea (strat 3)		Parametrii QoS evaluați			
Standard	Categorie de acces	DSCP	Precedență IP	Întârziere [s]	Jitter [s]	Primul pachet recepționat [s]	Ultimul pachet recepționat [s]
IEEE 802.11	-	-	-	0.015580	0.009494	10.171654	109.911329
				0.015413	0.009508	10.246114	109.913621
				0.015548	0.009122	10.220603	109.916134
IEEE 802.11e	AC[0]	0	0	0.002219	0.000850	10.013450	109.902058

Tabelul 4.15 Rularea unei aplicații de test cu suport QoS de tip AC [0] (topologie infrastructură)

Correspondența între prioritățile asociate la nivel de rețea și mapările la nivel de strat acces la mediu pentru marcarea unei aplicații de test cu precedență IP = 3 (topologie de tip infrastructură)							
Prioritate la nivel de strat acces la mediu (strat 2)		Prioritate la nivel de strat rețea (strat 3)		Parametrii QoS evaluați			
Standard	Categorie de acces	DSCP	Precedență IP	Întârziere [s]	Jitter [s]	Primul pachet recepționat [s]	Ultimul pachet recepționat [s]
IEEE 802.11	-	-	-	0.016604	0.007190	10.230335	109.915993
				0.016712	0.007645	10.355359	109.918646
				0.016709	0.007508	10.244999	109.913741
IEEE 802.11e	AC[2]	24	3	0.007174	0.006569	10.169269	109.908823

Tabelul 4.16 Rularea unei aplicații de test cu suport QoS de tip AC [2] (topologie infrastructură)

Correspondența între prioritățile asociate la nivel de rețea și mapările la nivel de strat acces la mediu pentru marcarea unei aplicații de test cu precedență IP = 6 (topologie de tip infrastructură)							
Prioritate la nivel de strat acces la mediu (strat 2)		Prioritate la nivel de strat rețea (strat 3)		Parametrii QoS evaluați			
Standard	Categorie de acces	DSCP	Precedență IP	Întârziere [s]	Jitter [s]	Primul pachet recepționat [s]	Ultimul pachet recepționat [s]
IEEE 802.11	-	-	-	0.007141	0.017270	10.382078	109.915919
				0.007570	0.016682	10.255917	109.918372
				0.007180	0.016502	10.191319	109.911301
IEEE 802.11e	AC[3]	48	6	0.001282	0.004723	10.142103	109.904111

Tabelul 4.17 Rularea unei aplicații de test cu suport QoS de tip AC [6] (topologie infrastructură)

Ca și în cazul evaluării performanței mecanismului EDCA într-o topologie de tip ad-hoc, parametrii de evaluare QoS pentru topologia de tip infrastructură sunt: întârzierea de transmisie cap-la-cap, jitter-ul, timpul de recepție al primului și al ultimului pachet transmis.

Reprezentarea grafică a întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap, pentru cele trei categorii de acces în funcție de suportul EDCA în comparație cu suportul de tip DCF în cazul scenariului de tip infrastructură, este ilustrată în Figura 4.25.

Caracteristic topologiei de tip infrastructură este faptul că oportunitățile de transmisie (*TXOP*) sunt oferite prin intermediul AP (în standard IEEE 802.11)/HC (în standard IEEE 802.11 cu suport QoS).

Astfel, pentru traficul marcat prioritar prin mecanismul EDCA într-o topologie de tip infrastructură, valoarea medie a întârzierilor de transmisie, a jitter-ului și durata transmisiei sunt net superioare cazurilor în care traficul este rulat fără suport QoS datorită controlului suplimentar introdus de coordonatorul hibrid.

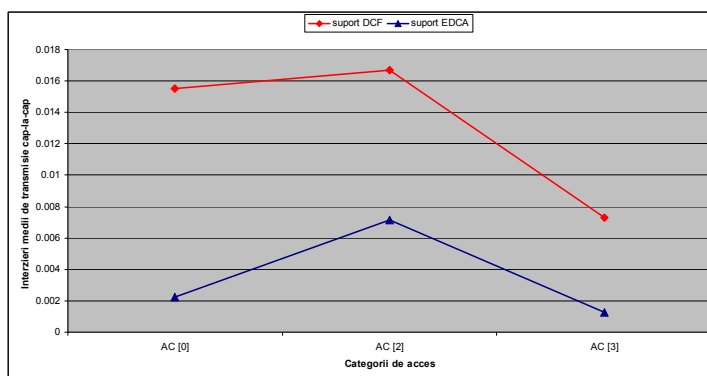


Figura 4.25 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap funcție de categoriile de acces EDCA în topologie de tip infrastructură

Concluzii

Evaluarea performanței mecanismului EDCA (în standard IEEE 802.11 cu suport QoS) prin comparație cu mecanismul DCF (în standard IEEE 802.11) s-a realizat prin intermediul a două scenarii de analiză:

- (1) un scenariu în topologie de tip ad-hoc și
- (2) un scenariu în topologie de tip infrastructură.

În ambele scenarii o aplicație de test de tip CBR a fost marcată prioritar și clasificată QoS prin intermediul corespondenței dintre câmpul precedență IP și categoriile de acces corespunzătoare în standard IEEE 802.11 cu suport QoS.

Scenariile de analiză au fost rulate prin intermediul simulatorului de rețele QualNet Developer 4.0.

Din analiza rezultatelor obținute putem extrage o serie de concluzii globale asupra performanțelor mecanismului QoS analizat:

- (1) mecanismul EDCA garantează o schemă prioritară QoS pentru serviciile discriminate de componenta temporală (*time-critical applications*) prin asigurarea spațiilor inter-cadru (*AIFS*), a valorilor minime și maxime ale ferestrei de disputare (*CWmin*, *CWmax*) și a categoriilor de acces corespunzător asociate (*AC*);

- (2) la alocarea setului de valori recomandate Cisco (*CUWN*) pentru diferențierea QoS a fluxurilor de trafic, mecanismul EDCA validează maparea priorităților de strat trei (precedență IP) în categorii de acces de strat doi corespunzătoare;
- (3) valoarea medie a întârzierilor de transmisie cap-la-cap și a jitterului în cazul diferențierii QoS a fluxurilor prin intermediul mecanismului EDCA arată o accesare mai rapidă a canalului radio pentru traficul încadrat într-una din categoriile de acces specifice EDCA în comparație cu traficul de tip *Best Effort* rulat în rețea;
- (4) durata transmisiei marcată prin timpul de recepție al primului și al ultimului pachet transmis demonstrează corelarea dintre durata minimă a spațiilor inter-cadru AIFS și nivelul de prioritate maximă asociat unui flux de trafic;
- (5) nivelul QoS furnizat este dependent de tipul topologiei în care este rulată aplicația de test, rezultatele simulărilor arătând o valoare medie a întârzierilor de transmisie cap-la-cap mai bună în cazul unei gestionări centralizate suplimentare prin intermediul coordonatorului hibrid;
- (6) evaluarea parametrilor QoS (întârzierile medii de transmisie cap-la-cap, jitter-ul și durata transmisiei) indică faptul că mecanismul suport QoS de tip EDCA asigură o bună diferențiere a serviciilor în comparație cu mecanismul original DCF.

4.3 Evaluarea performanței protocoalelor de rutare în medii cu transmisie radio

4.3.1 Caracteristici generale ale rutării

Scopul principal al unui protocol de rutare este acela de a identifica un traseu de livrare al fluxului de date, de la sursă către destinație. Acest lucru trebuie făcut ținându-se cont de ordinea emiterii pachetelor și cu introducerea unei întârzieri minime de procesare. Un algoritm de rutare are următoarele caracteristici:

- (1) robust: se adaptează ușor variațiilor traficului din rețea;
- (2) complexitate scăzută: introduce întârzieri minime la determinarea rutei;
- (3) stabil: capabil în a converge către soluții acceptabile la schimbări ale topologiei;
- (4) optimal: identifică ruta cea mai potrivită în termeni de întârziere;
- (5) echitabil: asigură aceleași privilegii tuturor nodurilor.

Ruta către destinație este estimată ținându-se cont de următoarele metrice:

- (1) numărul de hop-uri pe care un pachet trebuie să le traverseze pentru a ajunge la destinație și
- (2) costul rutei sau suma costurilor fiecărui traseu până la ajungerea la destinație.

Costul unei rute este înțeles în termeni de: întârzieri, lungimea cozilor de așteptare, capacitate de transfer (sau lățime de bandă).

Sunt identificate trei tehnici de rutare de bază: rutare pe baza adresei de rețea (*routing by network address*), schimbarea etichetei (*label swpping*), rutarea sursei (*source routing*).

În cazul rutării pe baza adresei, adresa destinație este specificată în antetul fiecărui pachet. Fiecare nod trebuie să identifice următorul hop pe baza tabelului de rutare (*routing table*) [Pat03].

În cazul tehnicii de schimbare a etichetei, fiecare pachet conține o etichetă specifică pachetelor pe legătura dintre aceleași noduri. Fiecare nod înlocuiește eticheta curentă cu una nouă înainte de a transmite pachetul. Această tehnică este tipică protocoalelor orientate pe conexiune (*connection-oriented*), în particular pentru aplicațiile sensibile la întârzieri.

În cazul rutării sursei, antetul pachetului conține informații despre întreg traseul către destinație.

Problema rutării într-o rețea are două componente:

- (1) determinarea rutei (*route discovery*);
- (2) menținerea rutei (*route maintenance*).

În vederea comunicării cu o entitate destinație, sursa are nevoie de a determina o rută potrivită pe care să transmită pachetele către destinație. Dacă starea unor astfel de rute (sau trasee) dintr-un motiv oarecare se modifică, este nevoie de identificarea unei alte rute pe care să fie transmisă informația către destinație.

4.3.2 Rutarea în medii cu transmisie radio

Există câteva probleme ce apar în cazul rutării în mediile cu transmisie radio datorate caracteristicilor specifice canalului radio [Muk03]:

- (1) Transmiterea între două stații pe un canal radio nu are întotdeauna aceleași caracteristici în ambele direcții. Astfel, rutele determinate pe baza protocoalelor de rutare clasice s-ar putea să nu funcționeze în mediile cu transmisie radio.
- (2) Rețelele cablate sunt configurate în mod explicit, având un număr dat de trasee între echipamentele active din rețea. Într-un mediu radio există trasee multiple între două stații aflate în comunicare.
- (3) Transmiterea informației de rutare în mediile cu transmisie radio consumă resursele rețelei, această situație putând deveni uneori critică. Totodată, transmiterea informației de rutare de către două noduri aflate la distanță unul față de celălalt nu influențează în nici un fel capacitatea de transfer din rețea. În același timp, transmiterea informației de rutare între două noduri aflate unul în raza celuilalt va afecta capacitatea de transfer dintre cele două entități.
- (4) În mediile cu transmisie radio, gradul de schimbare al topologiei rețelei poate fi mai mare decât acela al transmiterii informației de rutare între noduri.
- (5) Nodurile dintr-o rețea radio operează cu energie de emisie limitată, transmiterea informației de rutare influențând consumul de energie disponibil.

Observații:

1. În urma analizelor realizate în cadrul laboratorului de Sisteme Wireless, în cadrul unui scenariu ad-hoc cu mobilitate, pentru un număr de 30 de stații radio ce transmit unul către celălalt într-o ordine aleatoare, informația de rutare transmisă în rețea reprezintă 30 – 33% din traficul vehiculat în rețea.
2. Deoarece majoritatea testelor sunt realizate în cadrul unor simulatoare, lucrarea folosește în mod interschimbabil noțiunile de stație radio (STA) și nod radio (sau nod wireless).
3. Protocoalele de rutare din mediile radio se adresează în special topologiilor de tip ad-hoc.

Din enumerarea problemelor ce pot apărea într-un mediu radio, putem spune că rularea unui protocol convențional într-o rețea wireless, considerând fiecare nod un router, nu este o soluție optimă.

În concluzie, performanța protocoalelor de rutare în cazul rețelelor wireless este influențată de doi factori majori:

- (1) frecvența inițierii procedurilor de determinare a rutelor și
- (2) frecvența transmiterii informației de întreținere a rutelor respective.

La fel ca și în mediile de transmisie pe trasee cablate, în mediile de transmisie radio există două clase de protocoale de rutare:

- (1) protocoale de rutare pe baza vectorului distanță (*distance vector protocol*) sau protocoale cu rutare pe baza vectorului distanță (**DVR**, **Distance Vector Routing**);
- (2) protocoale de rutare pe baza stării legăturii (*link state protocol*) sau protocoale cu rutare pe baza stării legăturii (**LSR**, **Link State Routing**).

În cazul protocoalelor bazate pe vector distanță, fiecare nod deține o tabelă de rutare conținând o listă cu cele mai scurte trasee (*shortest paths*) către celelalte noduri din rețea. La conectare, fiecare nod cunoaște doar propria adresă, putând transmite către toate nodurile vecine cu care este conectat.

Prin broadcast, este transmis un pachet către toate nodurile vecine. Dacă distanța la un anumit nod este mai scurtă decât valoarea înscrisă în tabela de rutare, în tabelă este introdusă noua valoare, apoi noul vector distanță este retransmis către toate nodurile. În momentul în care vectorul distanță nu mai operează schimbări în tabela de rutare, spunem că protocolul a fost convergent, topologia rețelei fiind cunoscută. Astfel, un router determină care dintre vecinii săi este următorul hop pe traseul cel mai scurt către destinație.

Una din problemele acestui tip de protocoale este convergența scăzută și formarea buclelor de rutare. Buclele apar datorită faptului că fiecare router ia decizia asupra următorului hop local, pe baza unei informații care poate să nu fie tocmai actuală și datorită faptului că pachetele conținând informația de rutare (*routing update packets*) s-au propagat pe un traseu cu un număr mai mare de hopuri.

Nodurile rețelelor ce folosesc algoritmi bazați pe starea legăturii mențin o hartă distribuită a rețelei, așa numita bază de date cu starea legăturii. Aceste hărți sunt înscrise imediat ce a fost sesizată o modificare a rețelei din punct de vedere al încărcării acesteia, al traficului vehiculat prin rețea.

Fiecare nod este informat despre starea legăturii nodurilor adiacente lui și fiecare nod transmite un pachet cu starea legăturii către toate celelalte noduri. Nodurile salvează cele mai recente informații sosite. Deciziile de rutare sunt luate pe baza algoritmului numit alegerea traseului cel mai scurt (*shortest path first*).

Convergența acestui tip de protocoale este mai rapidă decât în cazul celor bazate pe starea legăturii, însă necesită un timp mult mai mare de calcul al rutei celei mai scurte către fiecare destinație posibilă. De asemenea încărcarea rețelei cu pachete de rutare este mult mai mare deoarece acestea sunt transmise routerelor din întreaga rețea.

O scurtă comparație între cele două tipuri de categorii scoate în evidență următoarele caracteristici ale protocoalelor pe baza stării legăturii:

- (1) Permite trasee multiple către destinație. Un protocol vector distanță selectează aleator unul din două trasee echivalente către destinație, în timp ce un protocol pe baza stării legăturii, având harta completă a rețelei, poate alege acel traseu ce oferă o capacitate de transfer (*bandwidth*) mai mare.
- (2) Rapid. Protocolul bazat pe vectorul distanță necesită, în cazul cel mai defavorabil, “n-1” pași în calcularea căii optime (unde n este numărul de noduri). Un protocol pe baza stării legăturii transmite printr-un simplu broadcast în rețea întreaga informație, fiind necesar doar un calcul local al rutei.
- (3) Simplu. Dacă din anumite motive intervin schimbări în topologia rețelei, în cazul vectorului distanță fiecare nod este în mod explicit indicat. În cazul unui protocol pe baza stării legăturii, acest lucru se realizează fără o informare explicită.

Atât în cazul protocoalelor pe baza vectorului distanță cât și în cazul protocoalelor pe baza stării legăturii, procedura de determinare a rutei este îmbinată cu cea de întreținere a acesteia prin transmiterea unor pachete de informare a stării legăturii.

4.3.3 Protocoale proactive și protocoale reactive

Sistemele celulare și rețelele Internet care permit mobilitatea utilizatorilor au la bază o infrastructură fixă, chiar dacă stațiile se pot deplasa.

O stație de bază poate “vedea” în orice moment toate nodurile radio din interiorul celulei respective (condiție de bază în proiectarea unor astfel de sisteme). În cazul unei rețele wireless de tip ad-hoc, avem următoarele premise:

- (1) lipsa unei infrastructuri fixe, topologia rețelei putându-se schimba foarte rapid;
- (2) un nod destinație poate fi situat în afara razei de transmisie a nodului sursă;
- (3) fiecare nod trebuie să poată transmite informația recepționată celorlalte noduri.

Toate aceste diferențe creează probleme și dificultăți în cazul algoritmilor de rutare destinație rețelelor fixe care presupun că topologia rețelei nu se modifică în timpul transmisiei.

Acești algoritmi vor reacționa fie prea lent, fie vor transmite informații de actualizare a rutelor mult prea multe, încărcând în felul acesta rețeaua. De aceea, specific mediilor radio de tip ad-hoc, sunt două categorii majore de protocoale de rutare:

- (1) protocoale proactive (*proactive protocols*) și
- (2) protocoale reactive (*reactive protocols*).

În cazul protocoalelor proactive informația de rutare este cunoscută apriori prin continua determinare și întreținere a rutelor. Protocoalele de rutare bazate pe vectorul distanță și starea legăturii sunt exemple de scheme proactive. Așa cum am văzut, aceste metode necesită însă cunoașterea topologiei întregii rețele, informație ce trebuie apoi transmisă către toate nodurile din rețea.

Odată cu creșterea numărului de noduri radio mobile, crește gradul de mobilitate în rețea, fiabilitatea unei legături scăzând. De asemenea scade și intervalul de valabilitate al informației de rutare.

În consecință, putem spune că într-un mediu radio extrem de dinamic, protocoalele proactive sunt mai puțin eficiente. Cu toate acestea, avantajul schemelor proactive rămâne acela că, în momentul în care o anumită rută este solicitată, poate fi imediat disponibilă în urma consultării tabelului de rutare.

Protocoalele reactive se bazează pe determinarea și întreținerea în mod separat a rutelor, fără a fi transmise în mod periodic informații cu modificările din rețea. Procedura de determinare a rutei este inițiată doar la cerere.

Deoarece informația de rutare poate să nu fie disponibilă în momentul solicitării unei rute, în cazul acestor protocoale întârzierile de procesare în determinarea traseului solicitat pot fi semnificative. Datorită acestor întârzieri de procesare, protocoalele de rutare reactive nu sunt recomandate comunicațiilor în timp real.

În cazul alegerii unui protocol de rutare într-un mediu de transmisie radio de tip ad-hoc, compromisul ce trebuie făcut va ține cont de două aspecte majore [Muk03]:

- (1) ocuparea unei cantități importante din capacitatea de transfer a rețelei (în cazul protocoalelor proactive) și
- (2) introducerea unor întârzieri de procesare ce apar la solicitarea unei rute (în cazul protocoalelor reactive).

4.3.3.1 Protocoale de rutare proactive

DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)

În cazul protocolului de rutare DSDV (**D**estination **S**equenced **D**istance **V**ector) mesajele de rutare sunt schimbate între nodurile radio vecine (nodurile care se află unele în vecinătatea altora).

Fiecare nod care are implementat protocolul DSDV menține o tabelă de rutare ce conține următorul hop pentru fiecare destinație aflată în raza acestuia (acele destinații cărora le poate transmite).

Protocolul DSDV este un protocol bazat pe vectorul distanță și pe numărarea hopurilor (*hop-counting distance vector*). Periodic, fiecare nod din rețea transmite informații de actualizare a informației de rutare (*broadcast routing updates*). Tabela de rutare a fiecărui nod are înregistrată ruta către fiecare nod din rețea.

Caracteristicile fiecărei destinații sunt date de identificatorul următorului hop (*next hop ID*) și numărul secvență (*sequence number*) atribuit de nodul destinație.

Protocolul DSDV etichetează fiecare rută cu un număr secvență și consideră ruta_1 mai favorabilă decât ruta_2 dacă ruta_1 are un număr secvență mai mare decât al rutei_2 sau dacă ruta_1 și ruta_2 au același număr secvență (*sequence number*) dar metrica rutei_1 este mai mică (*lower metric*).

Astfel, semnificația secvenței destinație DS (**D**estination **S**equences) este că noua rută are un număr secvență mai mare (fiecare nod din rețea incrementează numărul secvență pentru informațiile de rutare recepționate), iar vectorul distanță DV (**D**istance **V**ector) indică metrica rețelei (numărul de hopuri până la destinație).

Protocolul DSDV transmite informațiile de actualizare a rutei (*routing updates*) sub formă de informații de rutare periodice (*periodic routing updates*) sau sub formă de informații de rutare declanșate (*triggered routing updates*).

Informațiile de rutare declanșate sunt folosite suplimentar celor periodice în vederea propagării informației de rutare cât mai rapid ca urmare a modificării topologiei rețelei.

Pachetele de întreținere a rutei (sau de actualizare a rutei) conțin informații legate de atingerea destinației de către fiecare nod cât și numărul de hopuri necesar atingerii acelei destinații. Bineînțeles, aceste informații de menținere a rutei vor avea un număr secvență asociat fiecărei rute.

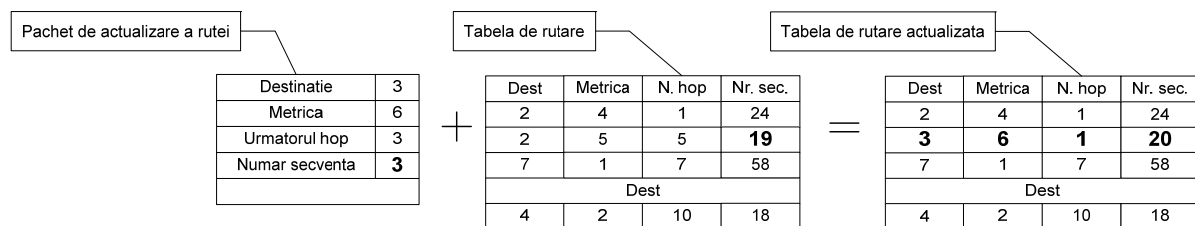


Figura 4.26 Menținerea tabelii de rutare în cazul protocolului DSDV

La recepționarea pachetelor de actualizare a rutei, fiecare nod compară informațiile de rutare conținute în tabela de rutare cu informațiile recepționate. Rutele cu număr secvență mai mici vor fi eliminate.

În cazul rutelor cu același număr secvență, informația de actualizare recentă înlocuiește vechea informație de rutare dacă matrică numărului de hopuri este mai bună. Noile rute înregistrate sunt imediat transmise către nodurile vecine.

Dacă legătura către un nod este întreruptă, fiecărei rute care trece prin acel hop îi este imediat asociată o valoare infinită (*infinite value*) și un nou număr secvență.

Pentru cazul unei rute cu valoare infinită și un număr secvență egal sau mai mare cu cel al unei rute cu o metrică finită este declanșat procesul de actualizare al rutei. Astfel, noile rute vor înlocui rutele anterioare ce au asociate valori infinite.

Principalul avantaj al protocolului DSDV în comparație cu protocoalele de rutare pe baza vectorului dinstanță este faptul că elimină buclele de rutare (*loop free*).

În mediile radio, unde nodurile transmit informația de rutare în mod asincron, pot apărea fluctuații în procesul de actualizare a rutelor. Pentru a elimina aceste fluctuații și implicit pentru a reduce numărul informațiilor de actualizare a rutelor, protocolul DSDV estimează durata pentru care o rută este considerată a fi stabilă (*termed settling time*).

Studiu de caz

Dacă un `nod_2` decide că ruta sa către destinația `nodul_3` este întreruptă, asociază rutei corespunzătoare `nodului_3` metrică infinită și un număr secvență mai mare decât numărul secvență anterior asociat (incrementează cu unu numărul secvență).

În acest caz, orice informație de actualizare a rutei dinspre `nodul_1` retransmisă de `nodul_2` va include valoarea de rută cu metrică infinită în tabela de rutare către `nodul_3`, pentru cazul în care `nodul_1` are o rută către `nodul_3`.

Evaluare

Este dificilă determinarea unor valori optime ale duratei pentru care o rută este stabilă, acest lucru ducând la fluctuații de încărcare a traficului cu informații de actualizare a rutelor din rețea.

4.3.3.2 Protocoale de rutare reactive

DSR (Dynamic Source Routing)

Protocolul DSR (**D**ynamic **S**ource **R**outing) este un protocol simplu și eficient destinat rutării în mediile cu transmisii radio, în special în mediile dinamice cu hopuri multiple.

Protocolul permite auto-organizare (*self-organizing*) și auto-configurare (*self-configuring*) fără a fi necesară existența unei infrastructuri a rețelei sau intervenția unui administrator.

Protocolul DSR este compus din trei mecanisme majore: rutarea (*routing*), determinarea rutei (*route discovery*) și menținerea rutei (*route maintenance*).

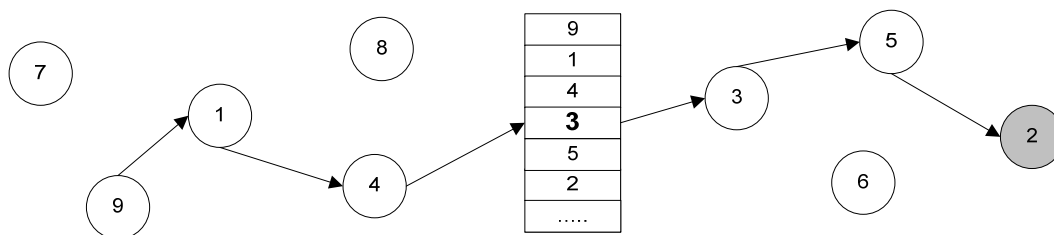


Figura 4.27 Mecanismul de rutare în cazul protocolului DSR

Mecanismul cheie al protocolului DSR este rutarea sursei SR (**S**ource **R**outing), o tehnică de rutare în care sursa cunoaște succesiunea hopurilor până la destinație. Aceste rute sunt

stocate și fiecare pachet ce urmează a fi rutat conține în antet lista completă și ordonată a nodurilor pe care trebuie să le traverseze pe traseul către nodul destinație.

Elementul cheie al mecanismului de rutare al nodului sursă este acela că nodurile intermediare nu necesită menținerea informației de rutare în vederea transmiterii pachetului la destinație. Această informație este inclusă numai în antetul pachetului respectiv.

Determinarea rutei

Determinarea rutei (*route discovery*) este mecanismul prin care nodul care dorește să transmită un pachet către nodul destinație obține traseul către destinație. Pentru a realiza acest lucru, nodul sursă transmite un pachet de solicitare a rutei (*route request*). Acest pachet de solicitare a rutei este transmis din nod în nod (*hop-by-hop*) până la nodul destinație.

Fiecare nod de pe traseul dintre sursă către destinație își adaugă propria adresă în antetul pachetului și îl transmite următorului nod vecin. Suplimentar, fiecare nod înregistrează noile rute recepționate și sunt memorate în tabele de rutare la nivelul fiecărui nod.

Procedura de determinare a rutei este declanșată numai dacă la nivelul nodului sursă nu este identificată o rută către destinație. În urma unei solicitări de determinare a rutei, nodul destinație sau unul din nodurile intermediare (care cunoaște calea către destinație) răspunde cu un mesaj de confirmare a rutei (*route replay*). Dacă o legătură este inactivă, nodul sursă este informat printr-un mesaj de eroare (*route error*). În acest caz, nodul sursă va declanșa o procedură de determinare a rutei, pentru cazul în care ruta respectivă este în continuare solicitată.

Studiu de caz

Dacă nodul_1 dorește să comunice cu nodul_8 și nu cunoaște ruta către acesta, va iniția un proces de determinare a rutei către acesta. Procesul de determinare a rutei are la bază transmiterea unor mesaje de tipul RREQ (***Route Request packets***) către toate nodurile.

Fiecare nod care primește un astfel de pachet îl retransmite tuturor nodurilor vecine, până când acesta ajunge la nodul destinație sau este identificat un nod intermediar care cunoaște ruta către destinație. La identificarea unei rute către destinație, este transmis către sursă un mesaj de tipul RREP (***Route Replay packet***).

Menținerea rutei

Menținerea rutei este mecanismul prin care un nod detectează întreruperea unei legături între sursă și destinație și obține o rută alternativă. De cele mai multe ori, protocoalele de rutare integrează mecanismul de determinare al rutei cu cel de menținere.

În cazul protocolului DSR nu sunt transmise mesaje periodice de actualizare a rutei către niciun nod. În cazul unei rute care este utilizată, mecanismul de menținere a căii monitorizează disponibilitatea legăturii și atenționează sursa despre eventualele erori. Mecanismul de menținere a rutei este posibil numai în cazul în care există un traseu alternativ către destinație.

Evaluare

În cazul protocolului **DSR**, doar în momentul în care se dorește stabilirea unei legături cu destinația, sursa inițiază mecanismul de determinare a rutei. Avantajul major al protocolului DSR este faptul că informația de rutare (*routing overhead*) este extrem de redusă pentru cazul în care sunt puține noduri în rețea și care doresc să comunice.

Sursele care încarcă rețeaua cu informație de rutare sunt mecanismele de determinare a rutei și de menținere a acesteia. Încărcarea rețelei cu trafic suplimentar apare în special când este solicitată o nouă rută, la detectarea unei erori sau la modificarea topologiei rețelei. Această

sursă suplimentară de trafic (*bandwidth overhead*) poate fi evitată prin memorarea la nivelul fiecărui nod a traseelor către celelalte noduri.

Cum rețelele radio de tip ad-hoc au disponibilă o capacitate de transfer limitată, în rețelele cu un număr mare de utilizatori și extrem de dinamice (care își modifică topologia foarte rapid) apar întârzieri de transmisie și o încărcare suplimentară a rețelei cu trafic redundant rezultat din includerea în tabela de rutare a adreselor nodurilor intermediare.

AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Protocol)

Protocolul AODV (*Ad-hoc On-Demand Distance Vector Protocol*) este un mecanism de rutare ce reprezintă o combinație a protocoalelor DSR (determinare și solicitare a rutei la cerere) și DSDV (rutare din nod în nod, utilizare număr secvență și transmitere de pachete periodice de actualizare a rutei).

Evaluare

Fără a avea implementat mecanismul de rutare al sursei, protocolul AODV folosește tabele de rutare în vederea transmiterii mesajelor de tip RREP (*Route Replay packet*) către sursă. Pentru evitarea buclelor de rutare și menținerea rutelor curente, AODV implementează mecanismul de numerotare secvențială a traseelor.

4.3.4 Evaluarea performanței protocoalelor de rutare în medii cu transmisie radio

În vederea evaluării tehnicilor de rutare în medii cu transmisie radio a fost utilizată versiunea ns-2.26 a simulatorului de rețele *Network Simulator* [ns-web].

Există patru protocoale de rutare implementate în versiunea ns-2.26 a simulatorului: un protocol de rutare proactiv (*DSDV*) și trei protocoale de rutare reactive (*DSR*, *AODV* și *TORA*).

Observație:

1. Motivul descrierii protocoalelor *DSDV* și *AODV* este faptul că aceste protocoale oferă implementări în simulatorul de rețele *Network Simulator*, simulator utilizat la evaluarea performanței protocoalelor de rutare în mediile cu transmisie radio.

În vederea evaluării performanței protocoalelor de rutare în mediile cu transmisie radio au fost analizați următorii parametri QoS în două categorii de scenarii de analiză:

- (1) numărul de pachete transmise per secundă (*throughput*);
- (2) încărcarea introdusă de mecanismul de rutare (*routing overhead*);
- (3) rata pachetelor pierdute (*packet loss ratio*);
- (4) întârzierea medie de transmisie cap-la-cap (*average end-to-end transmission delay*).

Prin intermediul setului de parametri QoS, în cele două seturi de analize s-a urmărit efectul creșterii numărului de noduri wireless și efectul mobilității în conjuncție cu protocoalele de rutare utilizate.

Primul scenariu de analiză

În primul scenariu de analiză este evaluată o topologie de rețea de tip ad-hoc alcătuită din zece noduri wireless. Nodurile wireless nu prezintă mobilitate, menținându-și poziția inițială pe toată durata simulării.

Între două noduri ale arhitecturii a fost rulată o aplicație modelată printr-o sursă cu rată de emisie variabilă în timp. În mod succesiv, pe strat rețea au fost rulate cele două protocoale de rutare analizate (DSDV și AODV), în final scenariile de analiză repetându-se pentru un număr dublu de noduri wireless [Pus04b].

Analiza a urmărit efectul creșterii numărului de noduri wireless cu indicarea celui mai eficient protocol de rutare.

Parametrii QoS analizați	Protocoalele de rutare analizate	
	DSDV	AODV
Numărul de pachete transmise per secundă [pachete/s]	157.6	159.88
Numărul de pachete de rutare transmise [pachete]	83	10
Numărul de pachete pierdute [pachete]	20	20
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap [s]	0.132	0.122

Tabelul 4.18 Analiza protocoalelor de rutare într-o topologie ad-hoc cu zece noduri wireless

Parametrii QoS analizați	Protocoalele de rutare analizate	
	DSDV	AODV
Numărul de pachete transmise per secundă [pachete/s]	157	159.86
Numărul de pachete de rutare transmise [pachete]	221	20
Numărul de pachete pierdute [pachete]	20	20
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap [s]	0.138	0.125

Tabelul 4.19 Analiza protocoalelor de rutare într-o topologie ad-hoc cu douăzeci de noduri wireless

Din analiza rezultatelor obținute se poate observa faptul că în cazul utilizării protocoalelor de rutare proactive testate (DSDV), numărul pachetelor de rutare transmise este considerabil mai mare decât numărul pachetelor de rutare transmise în cazul utilizării protocoalelor de rutare reactive (AODV).

Acest lucru este determinat de mecanismele specifice de întreținere a rutelor. Dacă în cazul protocoalelor de rutare reactive (AODV) informația de rutare este transmisă numai în cazul în care între nodul sursă și nodul destinație există un flux informațional de transferat, în cazul protocoalelor proactive (DSDV), informația de rutare este transmisă în mod independent de traficul din rețea.

Odată cu creșterea numărului de noduri în rețea, numărul pachetelor de rutare crește. Dacă în cazul protocoalelor de rutare reactive, pentru scenariul analizat, raportul de creștere al numărului de pachete de rutare transmise este de 2:1, în cazul protocoalelor de rutare proactive raportul de creștere este de 2.6:1 în aceleași condiții de simulare.

Totodată, din analiza rezultatelor obținute se poate observa faptul că numărul de pachete transmise per secundă, numărul de pachete pierdute și întârzierea medie de transmisie, pentru scenariul analizat, nu sunt influențate în mod considerabil de protocoalelor de rutare utilizate.

Al doilea scenariu de analiză

În cazul celui de-al doilea scenariu de analiză s-a urmărit efectul mobilității asupra parametrilor QoS în conjuncție cu protocoalele de rutare selectate (DSDV și AODV). Simulările s-au realizat pentru un număr de zece noduri wireless. Rezultatele sunt sintetizate în Tabelul 4.20 [Pus04b].

Parametrii QoS analizați	Protocoalele de rutare analizate			
	DSDV		AODV	
	15 m/s	30 m/s	15 m/s	30 m/s
Numărul de pachete transmise per secundă [pachete/s]	87.64	38.74	112.5	98.9
Numărul de pachete de rutare transmise [pachete]	70	80	23	23
Numărul de pachete pierdute [pachete]	41	25	40	40
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap [s]	0.165	0.164	0.146	0.198

Tabelul 4.20 Analiza protocoalelor de rutare într-o topologie ad-hoc cu mobilitatea nodurilor wireless

Din analiza parametrilor QoS se poate observa faptul că odată cu creșterea gradului de mobilitate din rețea, în cazul protocoalelor de rutare proactive (DSDV), crește și numărul de pachete utilizate pentru actualizarea localizării.

Cum protocoalele de rutare reactive (AODV) generează informații de rutare numai în momentul existenței unui flux de trafic, numărul pachetelor de rutare transmise este considerabil mai mic în comparație cu cel transmis în cazul protocoalelor proactive (DSDV).

În același timp, odată cu creșterea gradului de mobilitate al nodurilor din rețea numărul de pachete transmise per secundă scade, iar întârzierea medie de transmisie cap-la-cap crește.

Este de remarcat faptul că, în scenariile cu mobilitate, scăderea numărului de pachete transmise per secundă nu este determinată de numărul pachetelor pierdute, ci de traficulul redundant introdus prin informația de rutare schimbată între nodurile rețelei.

4.3.5 Concluzii

Motivația care a stat la baza analizei protocoalelor de rutare în mediile cu transmisie radio este demonstrarea faptului că fiecare dintre straturile modelului de referință ISO/OSI influențează în mod decisiv evaluarea calității unei legături și implicit calitatea serviciilor oferite (QoS).

Astfel, la nivel de strat rețea, a fost studiat efectul încărcării rețelei introdus de protocoalele de rutare proactive (DSDV) și reactive (AODV). În cele două scenarii de analiză, prin intermediul parametrilor QoS, a fost evaluată:

- (1) influența creșterii numărului de noduri radio și
- (2) influența vitezei nodurilor radio mobile.

Mecanismele de determinare și de mentenanță a rutei, caracteristice protocoalelor de rutare, determină ocuparea unei cantități din capacitatea de transfer a rețelei și întârzierile de procesare ce apar la solicitarea unei rute.

În cazul protocoalelor de rutare proactive, traseul către destinație este cunoscut în momentul în care se dorește rularea aplicației, acest lucru însemnând o încărcare a rețelei cu mesaje de rutare dar întârzieri minime în determinarea traseului către destinație.

În cazul protocoalelor reactive, rețeaua nu este încărcată cu mesaje de rutare, mecanismul de determinare a rutei se declanșează doar în momentul în care se dorește rularea unei aplicații, întârzierile de determinare a traseului către destinație fiind critice pentru aplicațiile multimedia.

Sintetizând rezultatele obținute, au fost demonstrate următoarele aspecte:

- (1) numărul pachetelor de rutare transmise în cazul utilizării protocoalelor de rutare proactive este considerabil mai mare decât numărul pachetelor de rutare transmise în cazul utilizării protocoalelor de rutare reactive;
- (2) odată cu creșterea numărului de noduri în rețea, numărul pachetelor de rutare crește;
- (3) creșterea gradului de mobilitate din rețea determină creșterea numărului de pachete utilizate pentru actualizarea localizării;
- (4) creșterea gradului de mobilitate în rețea determină scăderea numărului de pachete transmise per secundă și creșterea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap;
- (5) scăderea numărului de pachete transmise per secundă nu este determinată de numărul pachetelor pierdute, ci de traficul redundant introdus prin informația de rutare schimbată între nodurile rețelei.

Dacă în cazul tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio principalele probleme erau partajarea resurselor și evitarea coliziunilor, în cazul protocoalelor de rutare problemele specifice sunt datorate pe de o parte specificului mediului radio, iar pe de altă parte topologiei de tip ad-hoc. Astfel, nivelul QoS oferit într-un sistem cu transmisie radio este determinat de specificul protocoalelor de rutare utilizate.

4.4 Evaluarea performanței protocoalelor de transport în medii cu transmisie radio

4.4.1 Caracteristici generale ale segmentării pe strat transport

Acest paragraf urmărește evaluarea parametrilor QoS la nivelul stratului transport în conjuncție cu utilizarea pe stratul rețea a protocoalelor proactive (DSDV), respectiv reactive (AODV).

La nivel de strat transport, în funcție de tipul aplicației, simulatorul ns-2 încapsulează informația în segmente TCP (*Transmission Control Protocol*) sau UDP (*User Datagram Protocol*).

Astfel, aplicațiile în timp real sunt încapsulate în segmente de tip UDP, iar aplicațiile pentru care componenta temporală nu este una critică sunt încapsulate în segmente de tip TCP.

Aplicațiile în timp real sunt modelate prin surse de trafic de tip CBR (*Constant Bit Rate*), în timp ce aplicațiile nediscriminate de componenta temporală sunt modelate prin surse de trafic de tip VBR (*Variable Bit Rate*), FTP (*File Transfer Protocol*) sau HTTP (*HyperText Transfer Protocol*).

4.4.2 Evaluarea performanței protocoalelor de transport în medii cu transmisie radio

Scenariul de test respectă regulile de configurare utilizate în paragraful de evaluare a performanței protocoalelor de rutare în medii cu transmisie radio [Pus04b].

În mod succesiv vor fi rulate aplicații de test modelate prin surse CBR și VBR, iar la nivel de strat rețea vor fi interschimbate protocoalele DSDV și AODV.

Parametrii QoS analizați	Protocoalele de transport analizate			
	TCP		UDP	
	DSDV	AODV	DSDV	AODV
Numărul de pachete transmise per secundă [pachete/s]	155.24	156.92	77	77
Numărul de pachete de rutare transmise [pachete]	60	37	60	42
Numărul de pachete pierdute [pachete]	84	120	1	1
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap [s]	0.378	0.366	0.007	0.003

Tabelul 4.21 Analiza protocoalelor de transport în conjuncție cu tipul aplicației de test și protocoalele de rutare în medii cu transmisie radio

După cum știm, protocolul UDP este unul neorientat pe conexiune CL (*Connection Less*) în timp ce protocolul TCP este unul orientat pe conexiune CO (*Connection Oriented*).

În cazul UDP nu avem confirmări la recepționarea datelor, protocolul fiind destinat mediilor de transmisie foarte sigure. Protocolul este destinat aplicațiilor critice în timp (aplicații în timp real) care au rata erorilor de transmisie foarte scăzută [Dob02].

Din evaluarea parametrilor QoS analizați încrederea asigurată (*reliability*) în cazul protocolului UDP este reflectată în numărul considerabil mai mic al pachetelor pierdute în comparație cu cele în cazul utilizării protocolului TCP.

Deși costul plătit în cazul protocolului UDP este într-un număr de pachete transmise per secundă mai mic comparativ cu numărul de pachete transmise în cazul utilizării protocolului TCP, câștigul major oferit de suportul segmentării UDP este întârzierea medie de transmisie cap-la-cap.

4.4.3 Concluzii

Evaluarea performanței protocoalelor de transport în medii de transmisie radio (topologii de tip ad-hoc) demonstrează faptul că pentru aplicațiile care impun un anumit nivel al parametrilor QoS (de exemplu, valoarea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap de prag impusă) este necesară utilizarea unor medii de transmisie fiabile în conjuncție cu protocoale de transport care se bazează pe un nivel ridicat de încredere (UDP).

Totodată, aplicațiile în timp real necesită utilizarea unor protocoale de rutare proactive, care să reducă timpul de așteptare până la determinarea rutei în cazul aplicațiilor discriminate de componenta temporală.

4.5 Evaluarea performanței protocolului SIP

4.5.1 Scurt istoric al evoluției protocolului SIP

Pornit în urma unei discuții între Hennig Schulzrinne și Mark Handley la sediul IETF (*Internet Engineering Task Force*) în 1996, SIP (*Session Initiation Protocol*) este considerat de Henry Sinnreich “a treia mare inovație a protocoalelor Internet”, după TCP/IP și web.

Scopul cu care a fost creat SIP este acela de a transforma rețeaua de date IP într-una care să înglobeze toate categoriile comunicațiilor și implicit să ofere un nivel mai ridicat al calității serviciilor asistate.

SIP a fost dezvoltat în cadrul grupului de lucru IETF MMUSIC (*Multiparty MUltimedia SessIon Control Working Group*). Prima versiune a protocolului SIP a fost înaintată ca și draft Internet în anul 1997. Protocolul primește statutul de propunere pentru standardizare în martie 1999 [RFC 2543], iar în iunie 2002 SIP devine standard [RFC 3261].

Popularitatea SIP a crescut în urma promovării făcute și de alte grupuri de lucru (WG) IETF. Unul din acestea este SIPPING (*Session Initiation Protocol investigation*), creat cu scopul de a investiga aplicațiile SIP, de a dezvolta cerințele extensiilor SIP și de a publica documentația necesară.

Grupul SIMPLE (*SIP for Instant Messaging and Presence Leveraging Extensions*) a fost creat pentru a standardiza protocoale adiacente SIP. De asemenea, au mai fost și alte grupuri de lucru cu care s-a colaborat, și anume PINT (*PSTN and Internet Internetworking*) și SPIRITS (*Service in the PSTN/IN requesting Internet Services*).

4.5.2 SIP și protocoalele Internet (IP)

Protocolul SIP este gândit ca parte a unei arhitecturi globale multimedia de date și control peste IP în timp real, încorporând protocoale ca și RSVP (*Resource ReserVation Protocol*) [RFC 2205] pentru rezervarea resurselor rețelei, RTP (*Real-Time Transport Protocol*) [RFC 1889] pentru transportul datelor în timp real și asigurarea QoS, RTSP (*Real-Time Streaming Protocol*) [RFC 2326] pentru controlul furnizării datelor, SAP (*Session Announcement Protocol*) [RFC 2974] pentru declararea sesiunilor multimedia de tip multicast, SDP (*Session Description Protocol*) [RFC 2327] pentru descrierea sesiunilor multimedia și TSL (*Transmission Layer Security*) [RFC 5246] pentru criptare și autentificare.

De asemenea, protocolul SIP împrumută din elementele altor protocoale de start aplicație. Astfel, arhitectura client-server, adresa de tip e-mail și utilizarea URLs (*Uniform Resource Locators*) sunt similare cu cele din HTTP (*Hyper Text Transport Protocol*). Pe de altă parte, schema de codare de tip text și tipurile de antete (To, From, Date și Subject) sunt asemănătoare protocolului SMTP (*Simple Message Transfer Protocol*).

SIP oferă elementele necesare unui sistem de semnalizare (inițializare, menținere, încheiere de sesiuni), operând independent de protocoalele stratului transport peste care este utilizat și de tipul sesiunii stabilite. Protocolul a fost gândit în vederea interoperabilității cu protocoale și sisteme non-IP (H.323, PSTN, ISDN).

Conform [RFC 2543], portul utilizat pentru transmiterea mesajelor de semnalizare este 5060. Protocolul SIP nu furnizează servicii, ci primitive care pot fi folosite la implementarea anumitor servicii; nu alocă adrese multicast și nu rezervă resursele rețelei, dar poate transmite informațiile necesare pentru aceasta.

Stiva protocoalelor multimedia Internet prezentată se referă la modelul TCP/IP pe patru straturi și include ultimele protocoale din domeniu. Stratul mașină gazdă-rețea poate fi SDH/Sonet sau o linie telefonică (modem V.34/V.90) folosind PPP (*Point-to-Point Protocol*).

O altă posibilitate tehnologică ar fi folosirea ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) și AAL (*ATM Adaptation Layer*) peste xDSL (*Digital Subscriber Line*). Apariția Gigabit Ethernet poate fi un înlocuitor pentru Ethernet, iar MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) poate fi o altă soluție deosebit de modernă.

Peste straturile Internet (reprezentat de IPv4 și IPv6) și transport (TCP sau UDP) pot fi combinate împreună mai multe protocoale. Astfel, stratul aplicație include protocoale de semnalizare, de asigurare a QoS (*Quality of Services*) și de transport al datelor. [Dob02]

4.5.3 SIP și rețelele cu transmisie radio

Protocolul SIP a fost adoptat și de operatorii mobili ca și protocol de semnalizare al rețelelor de generație 3G. De asemenea SIP a fost cuplat și cu rețele de tip 802.11, adresând o altă categorie de operatori mobili. Utilizarea SIP este independentă de suportul Mobile IP al rețelei, furnizând suport pentru mobilitate.

Proiectul 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) furnizează specificațiile și rapoartele tehnice pentru generația a treia (3G) a sistemelor mobile. În cadrul acestui proiect funcțiile de control și semnalizare sunt alocate în întregime protocolului SIP.

Utilizatorii sunt identificați prin URL de tip SIP și/sau numere în format E.164. Serviciile adăugate (GPRS și Mobile IP) vor administra aspecte legate de micro-mobilitate (deplasarea unui nod mobil de la o stație de bază la altă), iar aspectele legate de macro-mobilitate (deplasarea nodului mobil dintr-un domeniu în altul) sunt rezolvate prin intermediul protocolului SIP. Proiectul 3GPP urmărește utilizarea în exclusivitate a adreselor de tip IPv6. Acest lucru este datorat numărului mare de utilizatori preconizați cât și facilităților oferite de conceptul Mobile IP. Modul în care a fost gândită întreaga arhitectură SIP specificată în [RFC 3621] oferă îndeplinirea tuturor cerințelor necesare mobilității și suport complet pentru adrese de tip IPv6.

4.5.4 Arhitectura SIP

Sunt numeroase aplicații Internet care necesită crearea și managementul sesiunilor, sesiunea fiind considerată ca schimbul de date între participanții implicați în comunicație.

Implementarea acestor servicii se complică în cazul în care utilizatorilor le este permisă mobilitatea, posibilitatea de a fi adresați prin nume multiple sau de a comunica pe diferite medii, uneori simultan. SIP prevede cinci etape în stabilirea și eliberarea unei comunicații multimedia:

- (1) localizarea utilizatorului (*user location*) – determinarea echipamentului terminal utilizat pentru comunicație;
- (2) disponibilitatea utilizatorului (*user availability*) – determinarea disponibilității părții apelate de a se angaja în comunicație;
- (3) identificarea posibilităților utilizatorului (*user capabilities*) – determinarea mediului și a parametrilor mediului de comunicație ce va fi utilizat;
- (4) inițierea apelului (*session setup*) – alertarea, stabilirea parametrilor sesiunii atât pentru cel care apelează cât și pentru cel apelat;
- (5) menținerea convorbirii (*session handling*) – presupune transferul și încheierea sesiunii.

Sunt două componente de bază SIP: agentul utilizator SIP și serverul de rețea SIP. Agentul utilizator este componenta terminală a sistemului într-o convorbire, iar serverul este componenta de rețea care gestionează semnalizările asociate apelurilor multiple.

Arhitectura de bază SIP este una client/server. Agentul utilizator fiind atât client cât și server permite realizarea semnalizărilor și convorbirilor cap-la-cap prin utilizarea unui protocol client/server. În sensul acesta SIP este văzut ca un sistem de semnalizare cap-la-cap.

Cea mai importantă funcție a serverului SIP este de a asigura translatarea numelui și localizarea utilizatorului, atunci când cel ce inițiază convorbirea nu cunoaște adresa IP sau numele calculatorului părții chemate.

Serverele SIP pot funcționa în două moduri diferite: cu păstrarea informațiilor de stare (*stateful*) și fără păstrarea informațiilor de stare (*stateless*). Diferența între cele două moduri este aceea că serverul în modul cu păstrarea informațiilor de stare își amintește cererile pe care le-a recepționat înainte ca să trimită un răspuns sau să emită noi cereri.

Un server ce funcționează în modul fără păstrarea informațiilor de stare nu reține informațiile odată ce a emis o cerere. Serverele fără păstrarea informației de stare sunt gândite ca și părți nucleu ale infrastructurii SIP în timp ce serverele ce funcționează în modul cu păstrare a informației de stare sunt componentele locale, plasate în apropierea utilizatorilor, controlând domeniile utilizator.

În esență, SIP îndeplinește următoarele funcții:

- (1) *Translatarea numelui și localizarea utilizatorului*: asigură chemarea părții apelate oriunde este aceasta localizată; transportă informații privitoare la localizare, se asigură dacă detaliile privitoare la natura convorbirii (sesiunii) sunt suportate.
- (2) *Negocierea mediului de comunicație*: aceasta permite grupului implicat într-o convorbire să cadă de acord asupra mediului de comunicație folosit; nu toți utilizatorii pot suporta aceleași tipuri de informații (de exemplu, transmisiile video pot sau nu pot fi suportate).
- (3) *Gestionarea convorbirilor*: în timpul unei convorbiri pot fi stabilite noi legături sau anulate conexiuni cu alți utilizatori. Mai mult, utilizatorii pot fi transferați sau puși în așteptare.
- (4) *Schimbarea mediului de comunicație*: utilizatorul are posibilitatea de a schimba caracteristicile unei convorbiri în desfășurare. Astfel, unei convorbiri setată doar pentru voce utilizatorii îi pot activa și funcția video în timpul convorbirii.

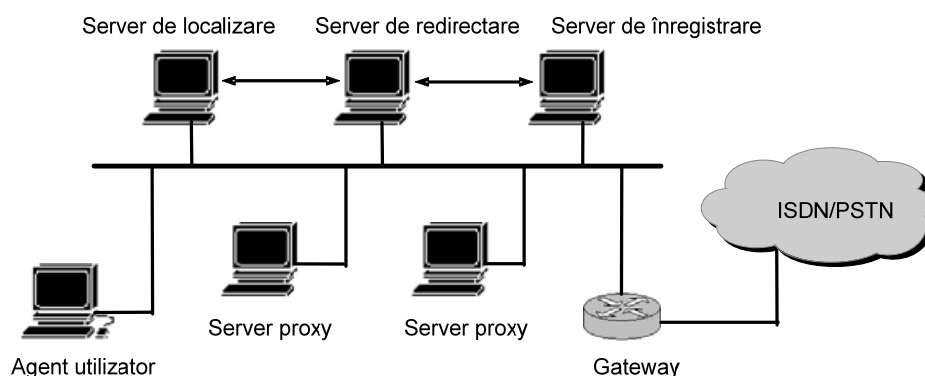


Figura 4.28 Arhitectura SIP

În Figura 4.28 este prezentat un model de arhitectură SIP. Elementele implicate și rolul lor redat pe scurt, este următorul:

- (1) Agent utilizator SIP: *telefon* (UA-aplicație care inițiază și încheie o convorbire) sau *gateway* (funcții de translație între rețele IP și non-IP);
- (2) Servere SIP: *server proxy* (funcții de autentificare, autorizare, controlul accesului în rețea, rutare, interpretare, rescriere și retransmitere a cererilor, securitate), *server de redirectare* (informarea clientului), *server de înregistrare*, (înregistrarea locației curente a clientului), *server de localizare* (informare a serverelor proxy sau de înregistrare).

Agentul utilizator SIP UA (*User Agent*) sau punctul terminal SIP funcționează ca și client UAC (*User Agent Client*) atunci când inițiază cereri, iar ca și server UAS atunci când răspunde la cereri.

Un agent utilizator poate comunica cu un alt agent utilizator direct sau prin servere intermediare. De asemenea, agentul utilizator menține și controlează starea legăturii.

Serverele intermediare SIP pot fi servere proxy sau servere de redirectare.

Serverul proxy SIP (*Proxy Server SIP*) retransmite cererile de la un agent utilizator către un alt server SIP. Poate fi folosit în reținerea informațiilor referitoare la taxare (atunci când convorbirea este rutată prin serverul proxy).

Serverul de redirectare SIP (*Redirect Server SIP*) răspunde la cererile clienților și le oferă adresele serverelor pe care le-au solicitat. Un server de redirectare recepționează cereri dar, în loc să le transmită următorului server, trimite răspunsuri chemătorului indicând adresa utilizatorului chemat.

În cazul serverului de înregistrare SIP (*Registrar Server*), agentul utilizator trimite un mesaj de înregistrare serverului și acesta stochează informația de înregistrare într-o bază de date ce oferă servicii de localizare, folosind un protocol non-SIP. Odată ce informația a fost stocată, serverul trimite înapoi utilizatorului răspunsul corespunzător. Atingerea destinației finale se face în unele cazuri doar după trecerea mai multor hopuri.

Cu toate acestea, protocolul SIP este deosebit de flexibil permițând contactarea unor servere de localizare externe în vederea localizării utilizatorului sau determinării politicilor de rutare.

În felul acesta, protocolul SIP nu constrânge utilizatorul la o singură schemă de localizare a părții apelate.

4.5.5 Mesaje SIP

SIP este un protocol ce folosește o schemă de codare de tip text (*text encoded scheme*). Un mesaj SIP este atât o cerere din partea unui client către un server cât și un răspuns al serverului către un client.

Cele două categorii de mesaje conțin o linie de start (*start-line*), unul sau mai multe câmpuri antet (*header fields*) numite uneori simplu antete, o linie liberă indicând sfârșitul câmpurilor antet și o parte opțională numită corpul mesajului (*message-body*).

Linia de start, fiecare linie din antetul mesajului și linia liberă trebuie să se termine printr-o secvență <CR><LF> (<Carriage-Return><Line-Feed>). Linia liberă trebuie să fie prezentă chiar dacă nu mai există un corp al mesajului.

“Obiectele” adresate prin cereri SIP sunt agenți utilizatori sau terminale identificați printr-un URL SIP. URL SIP are o formă similară cu URL-ul de mail sau telnet și este de forma utilizator@sta•ie (*user@host*).

Aceasta face ca adresarea SIP să fie simplă: astfel, a redirecționa un apel este la fel de ușor cum s-ar face redirecționarea către o pagină web.

URL SIP sunt folosite în interiorul mesajelor pentru a indica inițiatorul cererii (*From*), adresa destinație curentă (*Request-URI*) și destinația finală (*To*) a unei cereri SIP și pentru a specifica adresa de redirectare (*Contact*). Un URL SIP conform specificațiilor [RFC 2396] este de forma sip: utilizator@sta.ie.

4.5.5.1 Cereri SIP

Cererile SIP se disting prin faptul că au o linie de cerere în linia de start. O linie de cerere începe cu anunțarea metodei, urmată de URI (*Uniform Resource Indicator*) destinație și de versiunea protocolului, terminându-se cu secvența <CR><LF>. Nu este permis <CR> sau <LF> exceptând secvența <CR><LF> de la sfârșitul liniei. Linia de start a unei cereri SIP este de forma Method Request-URI SIP-Version.

Metodă (*Method*): specificația [RFC 2543] definește șase metode: REGISTER pentru realizarea înregistrării utilizatorului, INVITE, ACK și CANCEL pentru setarea sesiunilor, BYE pentru încheierea sesiunilor și OPTIONS pentru interogarea serverelor referitor la posibilitățile de care dispun în raport cu realizarea unei comunicații. În continuare sunt descrise metodele SIP:

- (1) INVITE – inițiază o convorbire invitând un utilizator să participe la o sesiune;
- (2) ACK – confirmă un răspuns final;
- (3) BYE – încheie conexiunea între utilizatori sau refuză un apel;
- (4) CANCEL – indică încheierea unei cereri sau a unei căutări pentru un utilizator ;
- (5) REGISTER – înregistrează locația curentă a unui utilizator;
- (6) OPTIONS – solicită informații despre posibilitățile unui server.

URI cerere (*Request-URI*): este un URL SIP sau un URI general, având formatul specificat în recomandarea [RFC 2396]. Indică utilizatorul sau serviciul căruia îi este adresată cerere.

Serverele SIP pot accepta URI cerere și într-un alt format decât cel specific SIP, de exemplu un tel-URI [Vah00]. Serverul translatează URI-ul cerere non-SIP folosind un anumit mecanism pus la dispoziție, rezultând un URI cerere SIP.

Versiunea SIP (*SIP-Version*): mesajul cerere cât și răspunsul includ versiunea SIP utilizată. Multe din mesajele SIP cât și sintaxa antetelor sunt identice cu cele ale protocolului HTTP/1.1 [RFC 2616]. Astfel, HTTP este înlocuit cu SIP și HTTP/1.1 este înlocuit cu SIP/2.0. Pentru a fi compatibile cu aceste specificații, aplicațiile SIP ce transmit mesaje trebuie să includă versiunea SIP sub forma SIP/2.0.

4.5.5.2 Răspunsuri SIP

Răspunsurile SIP se disting prin faptul că au în linia de start o linie de stare. O linie de stare este alcătuită din versiunea protocolului, urmată de un număr de cod al stării și textul asociat acestuia. Elementele sunt separate între ele prin caracterul spațiu (*SP-Space*). Nu sunt acceptate caractere <CR> sau <LF> cu excepția secvenței de la final [RFC 2543]. Linia de stare a unui răspuns SIP este de forma SIP-Version Status-Code Reason-Phrase.

Versiunea SIP (*SIP-Version*): SIP/2.0, aceeași ca și într-o cerere.

Cod stare (*Status-Code*): este un număr de cod întreg de trei cifre care indică rezultatul unei încercări de a înțelege și a satisface o cerere.

Numărul de cod al stării este interpretat de către automate de stare, în timp ce textul asociat ce dă semnificația numărului de cod este înțeles de utilizatorul uman.

Prima cifră din numărul de cod al stării definește clasa răspunsului. Ultimele două cifre nu au rol în clasificarea răspunsurilor. De aceea, orice răspuns având numărul de cod al stării cuprins între 100 și 199 este referit ca și “răspuns 1xx”, orice răspuns cu numărul de cod al stării între 200 și 299 ca și “răspuns 2xx” și așa mai departe.

Versiunea SIP/2.0 permite șase clase de răspuns:

- (1) 1xx: Informațional – răspuns recepționat, continuă să proceseze cererea;
- (2) 2xx: Succes – acțiunea a fost recepționată cu succes, înțeleasă și acceptată;
- (3) 3xx: Redirecționare – acțiunile următoare urmăresc completarea cererii;
- (4) 4xx: Insucces al cererii – cererea conține o sintaxă greșită sau nu poate fi îndeplinită de acel server;
- (5) 5xx: Insucces al serverului – serverul nu a reușit să îndeplinească o cerere aparent validă;
- (6) 6xx: Insucces global – cererea nu poate fi îndeplinită de nici un server;

Text asociat (*Reason-Phrase*): are scopul de a da o scurtă descriere a numărului de cod al stării.

4.5.6 Protocoalele RTP și RTCP în conjuncție cu protocolul SIP

Protocolul RTP (*Real-Time Transport Protocol*) asigură funcții de transport cap-la-cap dedicate aplicațiilor ce transmit date în timp real cum ar fi audio sau video, utilizatorii aflându-se într-o relație unicast sau multicast.

Protocolul RTP nu se ocupă de probleme de rezervare a resurselor și nu garantează calitatea serviciilor pentru serviciile în timp real. Transportul datelor este monitorizat de către protocolul RTCP (*Real-Time Control Protocol*) [RFC 3550] care oferă informații minime despre furnizarea datelor, realizând deci un control minimal al transferului datelor.

Protocolul RTP asigură datelor transportate următoarele servicii: identificarea tipului de date, numerotarea cadrelor, aplicarea unei amprente temporale asupra cadrelor și monitorizarea furnizării datelor (RTCP).

În general, transportul datelor cu RTP utilizează pe stratul transport protocolul UDP (*User Datagram Protocol*). Deși protocolul UDP nu oferă garanții privind fiabilitatea transmisiei, apărând posibilitatea pierderii, dublicării sau întârzierii unui cereri (răspuns), protocolul este preferat atunci când aplicațiile nu suportă antete suplimentare sau întârzieri.

Dacă hardware-ul rețelei și nodurile funcționează corect, rata erorilor în rețeaua locală sau WAN (*Wide Area Networks*) poate fi considerată foarte mică.

Protocolul RTP nu oferă nici un mecanism care să asigure furnizarea la timp a datelor sau care să garanteze calitatea serviciilor oferite, acest lucru fiind lăsat în seama serviciilor de pe straturile inferioare. Nu este garantată ajungerea la destinație a pachetelor în ordinea în care au fost transmise, dar numerotarea cadrelor permite reconstrucția datelor la receptor pe baza numărului de secvență.

Din aceste câteva considerente se poate observa faptul că protocolul RTP este alcătuit din două părți:

- (1) protocolul de transport în timp real (RTP), destinat transportului datelor care au astfel de caracteristici și
- (2) protocolul de control RTP (RTCP), destinat monitorizării calității serviciilor și transportului de informații despre participanții la sesiuni. [RFC 1889]

Protocolul RTCP se bazează pe transmisia periodică a unor pachete de control către toți participanții unei sesiuni, utilizând același mecanism ca și pentru pachetele de date. Portul pe care sunt transmise pachetele RTP este diferit de cel al pachetelor RTCP.

Principala funcție a protocolului de control RTP este de asigurare a unei reacții asupra calității distribuției datelor. Protocolul RTCP este o parte integrantă a funcției de transport a protocolului RTP și se referă la controlul fluxului și al congestiei traficului apărut datorită celorlalte protocoale de transport utilizate; aceste date sunt furnizate prin intermediul a două tipuri de pachete RTCP, numite raport al emițătorului SR (*Sender Report*) și raport al receptorului RR (*Receiver Report*), ce pot fi folosite în a diagnostica problemele de trafic apărute în rețea. Cele două tipuri de pachete amintite au următoarea semnificație:

- (1) Sender Report (SR): pentru transmisia și recepția unor date statistice cu referire la participanții care sunt emițători activi;
- (2) Receiver Report (RR): pentru recepția unor date statistice cu referire la participanții care nu sunt emițători activi.

Observații:

1. Se recomandă ca fracțiunea de bandă dedicată transmisiei de pachete RTCP să fie 5% din banda alocată sesiunii respective.
2. De asemenea se recomandă ca intervalul de timp în care se face analiza datelor să fie minimum 5 secunde, iar intervalul de timp între transmisiile de pachete RTCP va fi cuprins între [0.5, 1.5] ori intervalul de analiză. [RFC 3550]

4.5.7 Evaluarea performanței protocolului SIP

Pentru a estima caracteristicile și performanțele protocolului SIP, în contextul evaluării suportului QoS intra-domeniu, este prezentată o analiză a pachetelor RTCP destinate monitorizării calității serviciilor și transportului de informații despre participanții la o sesiune SIP.

Evaluarea performanțelor SIP se referă la analiza și interpretarea datelor din câteva câmpuri din structura pachetelor RTCP [RFC 1889]. Parametrii QoS extrași sunt:

- (1) variația întârzierilor, J (*interarrival Jitter*): câmp pe 32 de biți; este o estimare statistică a varianței sosirii pachetelor RTP măsurată în unități temporale; reprezintă echivalentul diferenței timpului de tranzit pentru două pachete succesive; J este calculat în mod continuu conform relației:

$$J = J + (|D(i-1,i)| - J)/16, \quad (4.10)$$

în care $D(i-1,i)$ exprimă diferența în unități temporale dintre două pachete RTP consecutive în felul următor:

$$D(i-1,i) = [R(i-1) - R(i)] - [S(i-1) - S(i)] = [R(i-1) - S(i-1)] - [R(i) - S(i)] \quad (4.11)$$

În Realția 4.11, $R(i)$ și $S(i)$ reprezintă amprenta temporală RTP (*RTP timestamp*) de recepție respectiv de emisie. Parametrul de câștig $1/16$ contribuie la o bună reducerea raportului de zgomot conferind menținerea unei rate satisfăcătoare de convergență.

- (2) numărul cumulat de pachete pierdute, CNPL (*Cumulative Number of Packets Lost*): câmp pe 24 biți; reprezintă numărul total al pachetelor RTP pierdute de la începutul recepției la sursa ce a emis acel bloc;
- (3) timpul de transmisie dus-întors, RTT (*Round Trip Time*): calcularea RTT se poate face la sursă, înregistrând timpul A (*Arrival*) la care a sosit blocul recepție; timpul total de propagare RTT este calculat ca și A-LSR, utilizând ultima amprentă temporală LSR (*Last SR timestamp*) din raportul emițătorului, și apoi scăzând din rezultat valoarea câmpului DLSR (*Delay Since Last SR*) a acelui bloc recepție.

La capturarea pachetelor transmise în rețea s-a folosit analizorul de trafic *Ethereal*, extragerea și estimarea parametrilor mai sus amintiți din fișierul de captură făcându-se cu programul *RTCPAnalyzer*. [Pus02]

Acesta din urmă a fost realizat folosind mediul integrat de dezvoltare C++Builder 6 oferit de către firma Borland. Sursa și comentarea programului sunt prezentate în [Pus02].

4.5.7.1 Arhitectura scenariului de evaluare

Pentru a observa mesajele SIP transmise în cadrul unei sesiuni PC-to-Phone și pentru a evalua performanța protocolului SIP din perspective QoS intra-domeniu, a fost utilizată arhitectura prezentată în Figura 4.29.

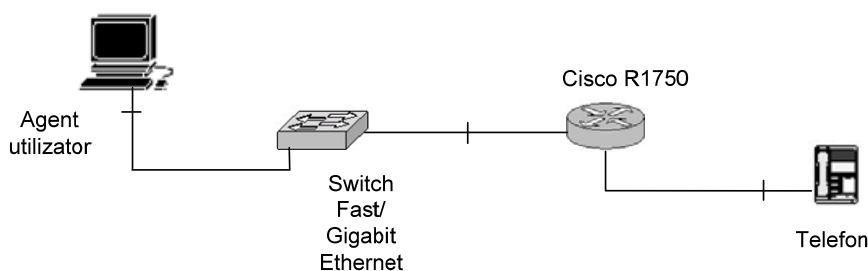


Figura 4.29 Arhitectura de evaluare a protocolului SIP de tip PC-to-Phone

Sesiunea SIP PC-to-Phone (Cisco R1750) a fost stabilită între terminale având adresele de strat rețea 172.27.208.160 respectiv (R1750). Routerul Cisco R1750 (172.27.208.100) este prevăzut cu interfață VoIP (*Voice over IP*), lucru care a făcut posibilă conectarea unui telefon. Interfața este un conector RJ-11.

În urma configurărilor interioare routerului, telefonului i-a fost atribuită o adresă de forma sip: 064@172.27.208.100.

Agentul utilizator SIP HUA se autoconfigurează în mod corespunzător cu setările mașinii pe care este instalat (*Contact Address* și *DNS Server*), iar numele utilizator pe mașina sursă alocat este sip:emanuel@193.226.6.177.

Observații:

1. Trebuie menționat faptul că testarea programului a fost realizată pentru capturile de pachete RTCP transmise între două terminale H.323.
2. Deoarece implementările agent utilizator SIP la momentul realizării testelor nu transmiteau pachete RTCP (SR și RR), singurul capabil de acest lucru în experimentele din acest proiect fiind routerul Cisco R1750, analiza SIP va evidenția doar doi parametri: interarrival jitter și cumulative number of packets lost.

Cum doar router-ul a trimis pachete RTCP, analiza parametrilor va fi făcută doar într-un sens, de la acesta spre stația pe care a fost instalat agentul utilizator.

În continuare sunt prezentate diagramele ce ilustrează evoluția în timp a parametrilor QoS măsurați:

- (1) variația întârzierilor (*interarrival jitter*) și
- (2) numărul cumulat de pachete pierdute (*cumulative number of packets lost*).

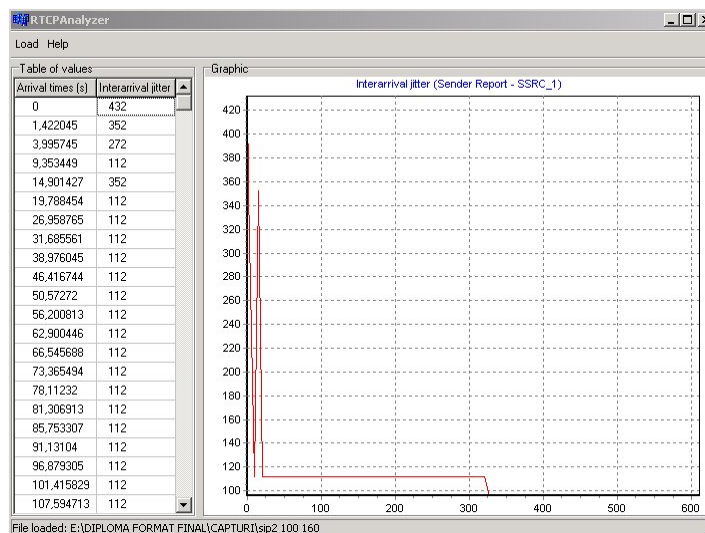


Figura 4.30 Variația întârzierilor într-o conexiune SIP de la 172.27.208.100 (Cisco) la 172.27.208.160

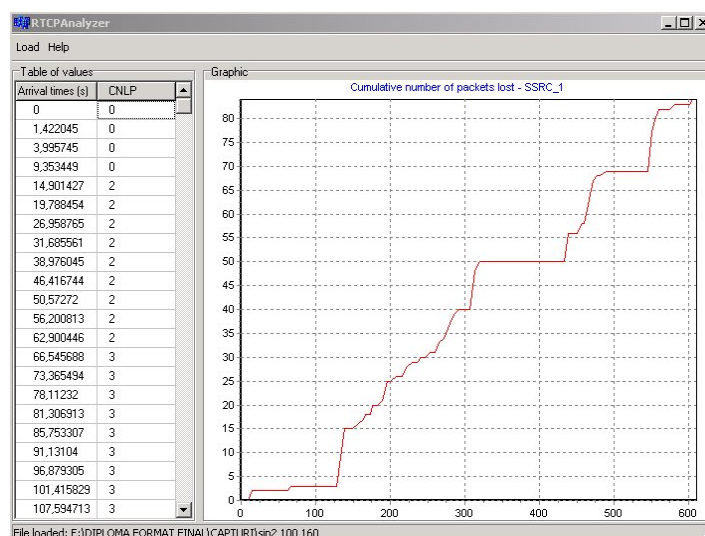


Figura 4.31 Numărul cumulat de pachete pierdute într-o conexiune SIP de la 172.27.208.100 (Cisco) la 172.27.208.160

Într-o aceeași conexiune cu terminalele de tip H.323 a putut fi estimat și timpul de transmisie dus-întors. Prin “r” s-a simbolizat sensul de la 172.27.208.160 la 172.27.208.100 (direct), iar prin “b” sensul de la 172.27.208.100 la 172.27.208.160 (invers). Valoarea RTT este exprimată în [ms].

Pentru cazul în care ambele terminale transmit pachete RTCP (de tip H.323), reprezentarea grafică a evoluției parametrilor măsurați este ilustrată în figurile următoare:

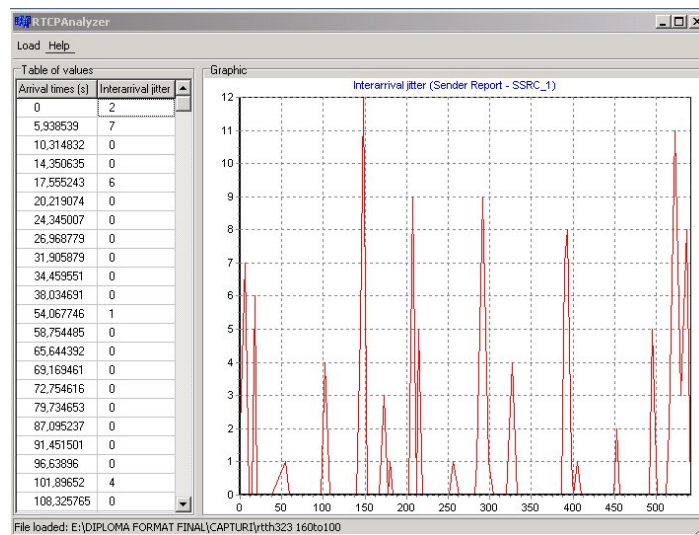


Figura 4.32 Variația întârzierilor într-o conexiune H.323 de la terminalul H.323 172.27.208.160 la 172.27.208.100 (Cisco)

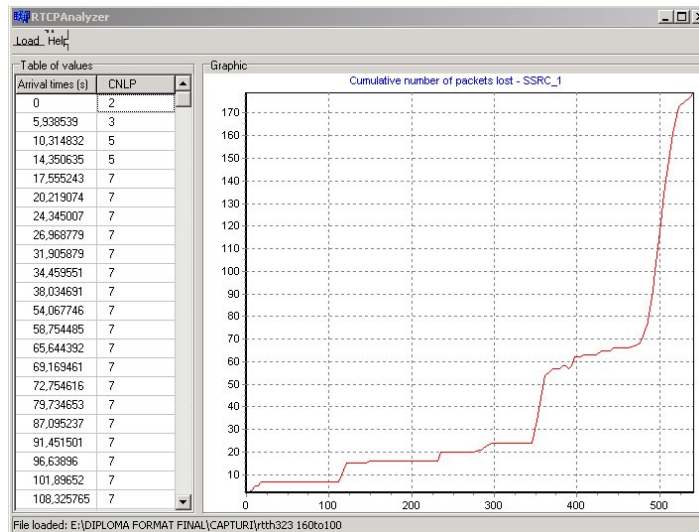


Figura 4.33 Numărul cumulat de pachete pierdute într-o conexiune H.323 de la 172.27.208.160 (terminal H.323) la 172.27.208.100 (Cisco)

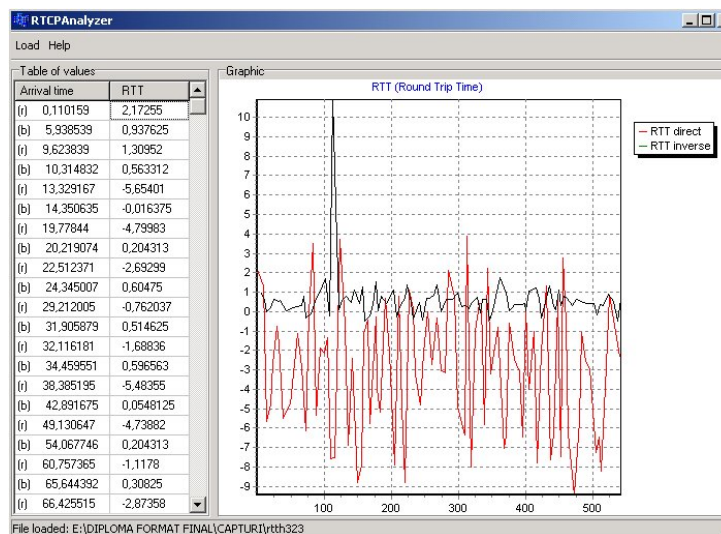


Figura 4.34 Timpul de transmisie dus-întors (RTT) în conexiune H.323 între 172.27.208.160 (terminal H.323) și 172.27.208.100 (Cisco)

4.5.8 Facilități QoS pentru SIP folosind COPS

Protocolul *SIP* (*Session Initiation Protocol*) a câștigat o deosebită atenție în cadrul protocoalelor de semnalizare în Internet, putând iniția sesiuni audio, video și multimedia.

Multe din aceste aplicații sunt sensibile la asigurarea unei rezervări a resurselor mai ales într-un mediu *Best Effort*. De aceea, un interes deosebit s-a manifestat în direcția găsirii unei interacțiuni între SIP și mecanismele QoS din rețeaua IP.

Termenul QoS (*Quality of Services*) se referă la o colecție de tehnologii și tehnici din cadrul unei rețele. Scopul QoS este acela de a oferi garanție în ceea ce privește posibilitățile rețelei de a furniza rezultate predictibile.

Elementele ce caracterizează performanțele unei rețele în scopul furnizării de servicii QoS sunt: disponibilitatea rețelei (*availability, uptime*), debitul (*bandwidth, throughput*), întârzierile (*latency, delay*) și rata erorilor (*error rate*).

În general, serviciile QoS implică impunerea unei priorități asupra traficului din rețea. Astfel, implementarea comercială a aplicațiilor multimedia în cadrul rețelei publice IP necesită servicii sigure, predictibile, măsurabile și garantarea serviciilor. QoS se referă de asemenea la abilitatea unui element de rețea de a avea un anumit nivel de încredere asupra faptului că traficul și serviciul solicitat pot fi satisfăcute.

Problema care deranjează însă cel mai tare în VoIP (*Voice over Internet Protocol*) este aceea a calității serviciilor oferite (QoS). Întârzierile ce apar într-o conversație sunt datorate jitter-ului și întârzierii pachetelor rutate în Internet.

În mod normal, Internet-ul oferă un singur tip de serviciu definit prin ceea ce se numește *Best Effort*, cu alte cuvinte, toate pachetele din rețea sunt egale; nu există vreo diferență funcție de natura pachetului.

O încărcare a traficului în rețea duce la apariția întârzierilor sau chiar la eliminarea de pachete. Urechea umană este sensibilă la întârzieri, putând detecta întârzieri de 200 ms. SIP nu este implicat în rezervarea resurselor în rețea și aceasta pentru că mesajele SIP nu au întotdeauna aceeași rută pe care o au pachetele de voce. De aceea SIP va folosi alte protocoale și tehnici pentru asigurarea QoS.

4.5.8.1 COPS

Protocolul COPS (*Comon Open Policy Sistem*) este un protocol cerere/răspuns (request/response) dedicat schimbului de politici de informare (*policy information*) și politici de decizie (*policy based decisions*).

COPS este un protocol bazat pe o arhitectură de tip client/server dedicat schimbului de politici de informare între server-ul de politici (*policy server*), numit punct de decizie a politicilor PDP (*Policy Decision Point*) și clienții săi, numiți puncte de impunere a politicilor PEPs (*Policy Enforcement Points*). Cele mai importante caracteristici ale protocolului COPS sunt:

- (1) protocolul implică un model client/server în care punctele PEP trimit cereri și modificări ale setărilor inițiale punctelor distante PDP, iar acestea returnează deciziile luate punctelor PEP;
- (2) protocolul utilizează TCP pe stratul transport;
- (3) protocolul este extensibil în sensul compatibilității cu diferite specificații ale clienților fără a necesita modificarea acestuia; preia caracteristici generale în ceea ce privește administrarea, configurarea și impunerea anumitor politici;
- (4) protocolul asigură securitatea mesajelor în vederea realizării autentificării, integrității mesajelor și protecției la atacurile de duplicare;
- (5) protocolul permite server-ului impunerea unei configurații pe care apoi o poate modifica dacă aceasta nu mai este corespunzătoare.

Protocolul de politici COPS este dedicat comunicării identității părții cu care interacționează, identificarea contextului în care este făcută cererea, identificarea tipului cererii, referirea la cererile anterioare, transmiterea politicilor de decizie, raportarea erorilor, furnizarea integrității mesajelor și transferarea informațiilor specifice către client.

PDP distinge între mai multe PEP prin intermediul unui indicator (*type of client*) din fiecare mesaj. Diferite tipuri de clienți pot avea specificații diferite și pot solicita diferite categorii de politici de decizie. [RFC 2784]

În acest context protocolul Q-SIP (*QoS for SIP*) este o îmbunătățire a protocolului SIP în vederea compatibilității cu o rețea IP având facilități QoS. Arhitectura propusă elimină necesitatea suportului QoS la terminalele utilizator (agenți utilizator), toate funcțiile QoS fiind translatate către serverele SIP, acestea realizând atât controlul stabilirii legăturii cât și rezervarea resurselor.

În momentul inițierii unei sesiuni SIP, agentul utilizator SIP transmite cererea unui proxy server SIP. Astfel, dacă este necesar acest server Q-SIP va iniția o sesiune QoS cu un alt server Q-SIP distant și totodată va începe negocierile cu furnizorul de servicii QoS (punctul de acces QoS). După ce se realizează comunicarea cu furnizorul de servicii QoS, procesul de stabilire a sesiunii poate continua, iar în final are loc transferul efectiv de date.

Protocolul COPS are rolul de a permite server-ului de politici (PDP) să comunice deciziile luate elementelor din rețeaua cu suport *DiffServ* (PEP). Sunt două cazuri în care este folosit protocolul COPS:

- (1) interfața între client (server-ul Q-SIP, client al domeniului QoS) și punctul de acces în domeniul respectiv (router-ul de la intrarea în domeniul QoS, *Edge Router*); în acest caz COPS este folosit pentru transmiterea cererilor de rezervare de resurse;
- (2) interfața între punctul de acces în domeniul respectiv (router-ul de la intrarea în domeniul QoS, *Edge Router*) și punctul de control al resurselor (controlul resurselor, *Bandwidth Broker*).

Astfel putem concluziona faptul că rolul COPS în arhitectura sugerată este acela de a transmite cereri de monitorizare a controlului și de alocare a resurselor într-o rețea *DiffServ*.

Clientul propus în acest scop poartă numele de COPS DRA (**COPS DiffServ Resource Allocation**), cerințele de implementare fiind specificate în [cops00-01].

4.5.8.2 Q-SIP, QoS pentru SIP folosind COPS

Ca și concept de bază, SIP este un protocol de stabilire a sesiunilor cap-la-cap. În vederea asigurării unui nivel al QoS adecvat comunicațiilor audio și/sau video este necesară o formă de rezervare a resurselor.

În viziunea inițială, suportul pentru rezervarea resurselor se baza pe suportul QoS de tip *IntServ* [Pus05r1]. Acest lucru are două neajunsuri majore:

- (1) aplicația utilizator trebuia să cunoască mecanismul QoS utilizat în rețea și protocoalele de semnalizare folosite pentru rezervările QoS (RSVP);
- (2) aplicația trebuia să implementeze aceste protocoale QoS, crescând astfel complexitatea; în cazul utilizării RSVP ca și protocol de semnalizare, ambele terminale necesitau implementarea protocolului.

Deoarece modelul *IntServ* pare a fi mai adaptat serviciilor ce necesită garantarea strictă a QoS (în cazul telefoniei IP fiind un model prea complex în care apar probleme de scalabilitate), a fost ales modelul *DiffServ* ca și modalitate de asigurare a calității serviciilor (QoS).

În Figura 4.35 este prezentat modelul de bază QoS pentru SIP în care s-au folosit următoarele acronime: SIP UA (*SIP User Agent*) – agent utilizator SIP; AN (*Access Network*) – rețea de acces; ER (*Egress Router*) – router de ieșire din domeniu; CN (*Core Network*) – rețeaua nucleu cu suport QoS.

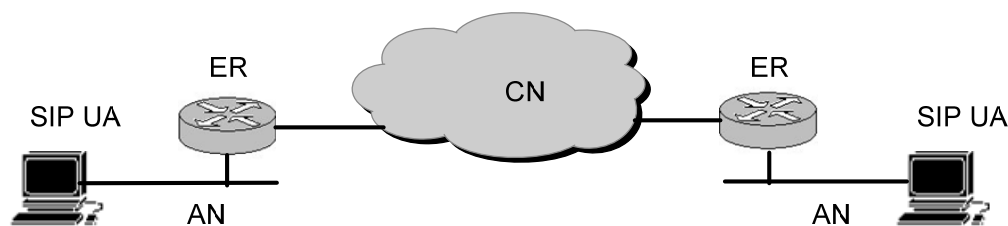


Figura 4.35 Model de referință pentru utilizarea SIP cu suport QoS

Terminalele SIP (SIP UAs) sunt conectate prin rețeaua de acces AN la rețeaua CN cu suport QoS. Suportul QoS asigurat în interiorul rețelei CN este accesat prin intermediul unor puncte de acces QoS (QoS Access Points) situate la intrarea în astfel de rețele.

Aceste puncte de acces QoS au fost asociate cu router-ele de intrare în domeniu, ER. Calitatea serviciilor în interiorul CN este funcție de modelul QoS adoptat de către furnizorul de servicii (*ISP*) și nu face scopul acestei prezentări.

Arhitectura QoS sugerată (Figura 4.35) elimină necesitatea suportului QoS de către terminale, toate mecanismele fiind translatate înspre server-ele locale SIP, cele care vor controla atât stabilirea sesiunilor cât și mecanismele de rezervare a resurselor. Această facilitate simplifică complexitatea terminalelor.

La inițierea unei sesiuni, agentul utilizator chemător poate iniția această sesiune prin intermediul unui server proxy de ieșire din domeniu. Acesta este un server cu suport QoS (server Q-SIP) ce poate iniția, dacă este necesar, o sesiune QoS cu un server distant Q-SIP și cu furnizorul de servicii QoS, punctul de acces QoS (QoS Access Point). Când furnizorul de servicii QoS răspunde, procesul de stabilire a sesiunii continuă, urmând ca în final să aibă loc sesiunea efectivă.

Cerințele de bază pentru Q-SIP sunt:

- (1) folosirea agenților utilizator existenți fără a modifica/îmbunătăți aplicațiile SIP UA;
- (2) posibilitatea stabilirii sesiunilor cu agenți utilizator care nu doresc/suportă facilități QoS;
- (3) arhitectura trebuie să poată fi extinsă noilor modele de suport QoS din cadrul rețelelor IP.

Procedura de stabilire a suportului QoS este realizată în întregime de agenții QoS integrați în server-ele SIP, mecanismele de asigurare QoS fiind necunoscute agenților non Q-SIP. În acest fel arhitectura “izolează” semnalizările SIP de suportul QoS, realizând compatibilitatea cu aplicațiile SIP existente.

Ideea de bază este ca agenții utilizator SIP ai unui domeniu să folosească un server proxy SIP implicit atât pentru apelurile de intrare, cât și pentru apelurile de ieșire din domeniul respectiv.

Agentul utilizator trimite și recepționează mesaje SIP de la acest server. Server-ele SIP sunt implicate în schimbul de mesaje SIP între agenții utilizator și pot adăuga/citi informații QoS în/din mesaje SIP.

Informațiile QoS schimbate sunt transparente agenților utilizator. Server-ul Q-SIP va extrage din semnalizările SIP parametri QoS și va interacționa cu mecanismele QoS ale rețelei. Server-ul Q-SIP, inițiatorul mecanismelor QoS, adaugă informația QoS în mesajele SIP, iar server-ul căruia îi este destinată această informație o va interpreta ca și capacitate de suport QoS a inițiatorului.

Dacă server-ul destinat este capabil și dorește folosirea facilităților QoS, va răspunde în mod pozitiv printr-un mesaj SIP. Dacă informația QoS din mesajul SIP nu este înțeleasă, ea va fi ignorată, stabilirea sesiunii făcându-se fără garantarea calității serviciilor.

Arhitectura SIP QoS va fi prezentată în Figura 4.36 și 4.37. Elementele de bază vor fi doi agenți utilizator SIP (SIP UA), două servere SIP (Q-SIP) și rețeaua cu suport QoS.

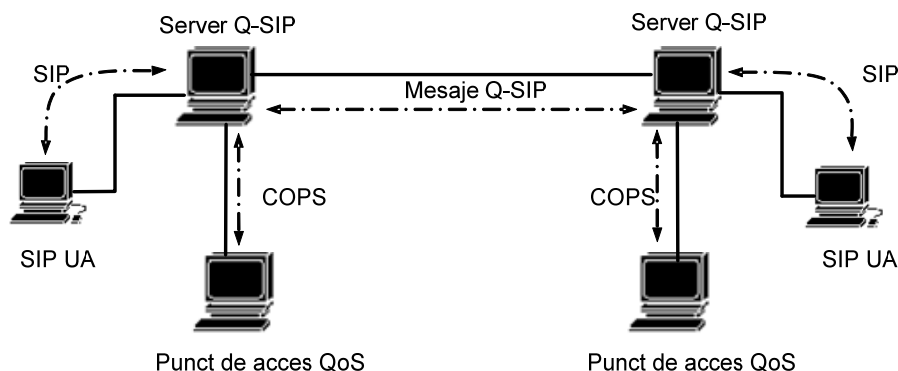


Figura 3.46 Arhitectură Q-SIP folosind servere Q-SIP într-o rețea IP cu QoS ce permite rezervare unidirecțională

Calitatea serviciilor asigurată în cadrul rețelei este accesată prin intermediul punctelor de acces QoS localizate la capetele rețelei.

Funcție de tipul de rezervare a resurselor oferit în cadrul rețelei, putem distinge două categorii logice de puncte de acces QoS: unidirecționale și bidirecționale, de la un punct de intrare ER (*Egress Point*) către un punct de ieșire IR (*Ingress Point*).

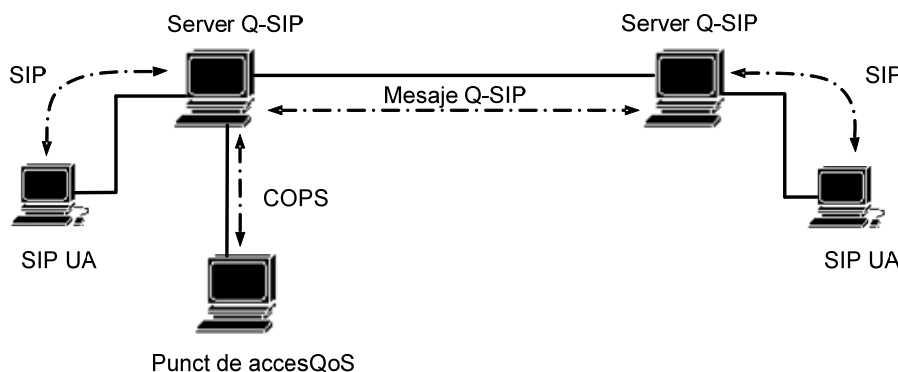


Figura 3.47 Arhitectură Q-SIP folosind servere Q-SIP într-o rețea IP cu QoS ce permite rezervare bidirecțională

Stabilirea unei sesiuni într-unul din aceste cazuri are la bază două elemente: semnalizările cap-la-cap prin care se schimbă informații QoS și negocierile QoS între agenții utilizator și rețeaua cu rezervare a resurselor.

Prin modul unidirecțional este indicat faptul că fiecare punct de acces își trimite propria-i cerere de rezervare a resurselor. Într-o rețea Q-SIP ce asigură rezervarea resurselor în mod bidirecțional avem un singur punct de acces și o singură cerere de rezervare.

Deși a fost prezentat cazul în care SIP UA nu este capabil de aspecte QoS, server-ele Q-SIP făcând rezervarea resurselor, mecanismul Q-SIP poate fi aplicat și în cazul în care agenții utilizator SIP oferă suport QoS. Acest caz este ilustrat în Figura 3.48.

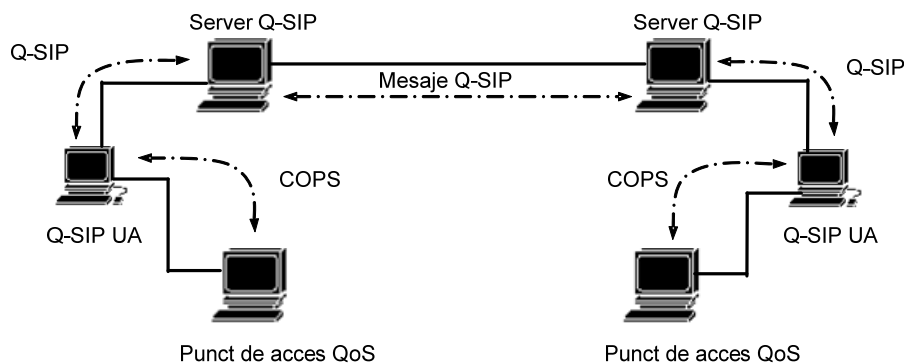


Figura 3.48 Arhitectură Q-SIP cu agenți utilizator Q-SIP (cu suport QoS)

Scenariul QoS pentru SIP are la bază un suport *DiffServ* în rețeaua nucleu (*core network*), suport ce permite accesul din rețele de acces multiple. Cererile QoS sunt recepționate la intrarea în rețeaua nucleu prin intermediul punctelor de acces. Protocolul COPS va fi folosit pentru rezervările QoS.

Arhitectura pentru care au fost gândite facilitățile QoS pentru SIP folosind COPS este sugerată în Fig. 2.1. Elementele de interes sunt: agentul utilizator SIP (SIP UA), serverul SIP cu facilități QoS (Q-SIP) și elementele rețelei DiffServ (punctul de acces QoS și serverul de control al resurselor).

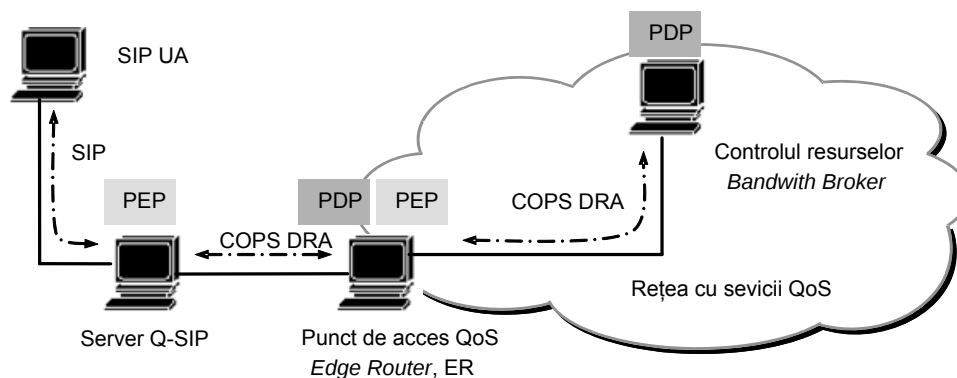


Fig. 4.49 Arhitectură ce integrează facilitățile QoS pentru SIP folosind COPS

În cazul unei sesiuni standard SIP, agentul utilizator transmite o cerere server-ului proxy în vederea stabilirii conexiunii; procesul de stabilire a sesiunii se realizează prin intermediul server-ului proxy.

Dacă este întâlnit un server Q-SIP, acesta va iniția o sesiune QoS cu un server distant Q-SIP și cu furnizorul de resurse QoS din cadrul rețelei nucleu.

Conform sensului în/spre care se va realiza apelul, cele două servere Q-SIP se vor numi server Q-SIP chemător și server Q-SIP chemat. Această arhitectură este ilustrată în Figura 4.35.

Scopul de bază al mecanismului de semnalizare Q-SIP este de a realiza interacțiunea dintre cele două părți (server-ele Q-SIP) în vederea schimbului de informații necesare stabilirii unei sesiuni QoS (ex. furnizarea adreselor IP ale elementelor QoS: router-ul de intrare și cel de ieșire).

4.5.9 Concluzii

SIP (*Session Initiation Protocol*) este un protocol de semnalizare a stratului aplicație dintr-o rețea TCP/IP folosit pentru inițializarea, menținerea și eliberarea sesiunilor audio și/sau video în timp real, cu unul sau mai mulți participanți aflați într-o relație unicast sau multicast.

Mesajele SIP reprezintă cheia stabilirii unei sesiuni. Fiind vorba de o arhitectură client/server bazată pe un sistem cerere/răspuns, mesajele SIP se clasează în cereri și răspunsuri SIP. Diferența dintre cele două categorii o face linia de start.

Mesajul SIP este alcătuit dintr-un câmp de antet ce asigură o identificare a părților implicate și o rutare precisă și dintr-un corp al mesajului ce servește negocierii parametrilor comunicației.

Metodele SIP urmăresc scopul acestui protocol și anume: inițierea și eliberarea unei sesiuni cât și posibilitatea de modificare a unei sesiuni existente.

Inițial agentul utilizator trebuie înregistrat la un server de înregistrare (REGISTER) după care poate iniția o sesiune (INVITE). Acceptarea invitației și stabilirea dialogului între cele două părți se face în urma transmiterii unui mesaj de confirmare din partea celui care a inițiat sesiunea (ACK) după un răspuns prealabil al părții chemate (200 OK). Acest schimb de mesaje stabilește și parametrii mediului de comunicație (audio/video, codări, tipuri de codec-uri) prin intermediul descriptorilor de sesiune.

Protocolul prevede și posibilitatea schimbării parametrilor sesiunii de către oricare din părțile implicate în dialog (re-INVITE). Dacă una din părți dorește încheierea dialogului, sesiunea poate fi eliberată (BYE). Pentru a interoga un server în legătură cu posibilitățile acestuia se folosește metoda OPTIONS. Metoda CANCEL anulează o cerere anterioară. Aceste ultime două metode sunt considerate cereri în afara unui dialog.

Prezentarea protocolului RTP-RTCP, utilizat în conjuncție cu protocolul SIP, a avut ca scop înțelegerea mecanismului de transmitere și de completare a câmpurilor din cele două tipuri de pachete RTCP, SR și RR.

În urma capturării unor mesaje RTCP transmise între agenții utilizator SIP în configurație PC-to-Phone, valorile acestor câmpuri au fost folosite la evaluarea următorilor parametri QoS: întârzierea de transmisie dus-întors RTT, jitter-ul între două pachete succesive și numărul cumulat de pachete pierdute.

Pentru demonstrarea funcționării corecte a evaluărilor realizate s-au folosit eşantioanele obținute din conexiuni SIP, dar și din conexiuni H.323 (deoarece implementările actuale ale agenților utilizator SIP nu transmit pachete RTCP și deci nu a fost posibilă calcularea RTT pentru acestea).

Cum protocolul SIP nu prevede suport QoS, în modelul de rezervare a resurselor utilizând COPS, stabilirea unei sesiuni este alcătuită din două aspecte:

- (1) semnalizările cap-la-cap prin care se schimbă informații QoS și
- (2) negocierile QoS între agenții utilizator și rețeaua cu rezervare a resurselor.

Calitatea serviciilor asigurată în cadrul rețelei este accesată prin intermediul punctelor de acces QoS localizate la capetele rețelei.

Arhitectura QoS sugerată păstrează compatibilitatea cu terminalele SIP propuse de protocolul SIP. În arhitectura Q-SIP, modelul de rezervare *DiffServ* este folosit ca și mecanism de transport al resurselor solicitate, iar COPS ca protocol de cerere și de control al rezervării resurselor. În vederea asigurării suportului QoS pentru aplicații folosind SIP, modelul COPS/DiffServ este o alternativă a modelului IntServ/RSVP.

Capitolul 5

Specificul QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid

Asigurarea suportului QoS cap-la-cap într-o arhitectură ce integrează domenii administrative multiple este o chestiune delicată. În lucrarea de față, acest aspect a fost înglobat în terminologia de QoS inter-domeniu sau QoS inter-sistem.

Din punctul de vedere al arhitecturilor existente propuse, la ora actuală nu există soluții standardizate cu suport QoS peste domenii administrate multiple în înțelesul conceptului FMC (*Fixed and Mobile Convergence*).

5.1 Structura capitolului

În baza cercetărilor realizate asupra activității unor organisme de standardizare, a rapoartelor unor proiecte de cercetare și a studiilor ce au vizat activitatea unor centre de cercetare, capitolul propune o analiză a principalelor modele arhitecturale inter-domeniu cu suport QoS. Astfel, capitolul este organizat pe șase paragrafe după cum urmează:

- (1) structura capitolului, ce face o scurtă prezentare generală a aspectelor vizând specificul QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid;
- (2) problematica QoS inter-domeniu în abordarea unor organisme de standardizare, ce prezintă perspectiva 3GPP, ITU-T, ETSI și IETF asupra arhitecturilor QoS inter-domeniu;
- (3) problematica QoS inter-domeniu în abordarea unor proiecte de cercetare, ce prezintă perspectiva IST prin proiectele EuQoS, AQUILA, ENTHRONE, MESCAL, CADENUS, TEQUILA, EMANICS, respectiv NSF prin proiectul GENI/FIND;
- (4) problematica managementului QoS inter-domeniu în abordarea unor publicații și manifestări științifice, ce prezintă principalele fluxuri de publicații științifice și manifestările ce tratează aspecte ale managementului inter-sistem;
- (5) problematica QoS inter-domeniu în abordarea unor comunități științifice, ce prezintă soluții QoS inter-domeniu particulare, în special arhitecturi distribuite de tip client/server;
- (6) ultimul paragraf prezintă concluziile, indicând totodată direcția de analiză ce urmează a fi realizată în capitolul următor.

Capitolul reprezintă un preambul al modelelor QoS inter-domeniu propuse prin această lucrare (modelul QoS inter-domeniu utilizând agenți mobili, respectiv modelul I-NAME), o trecere în revistă a stadiului actual al cunoașterii în domeniu raportat la cele mai recente referințe.

5.2 Problematika QoS inter-domeniu în abordarea unor organisme de standardizare

De-a lungul ultimilor ani a fost depus un efort considerabil în domeniul cercetării în ceea ce privește asigurarea suportului QoS în rețelele de telecomunicații. În general, cea mai mare parte a efortului a fost depusă în contextul unor planuri arhitecturale QoS individuale având un control centralizat al rețelei. La ora aceasta însă, efortul este îndreptat către un control distribuit, al unui management al resurselor integrat inter-domeniu.

Organismele de standardizare și-au intensificat cercetările în ceea ce privește asigurarea unui suport QoS cap-la-cap independent de topologia rețelei.

Dintre acestea putem aminti: 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*), ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) și IETF (*Internet Engineering Task Force*).

În continuarea acestui paragraf vor fi prezentate abordările QoS inter-domeniu ale organismelor de standardizare amintite. Cu toate similitudinile corespundente în abordare, există elemente de diferențiere generate de specificul și scopul fiecărei abordări în parte.

5.2.1 Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea 3GPP

Arhitectura rețelei nucleu a celei de-a treia generații (3G) de sisteme de comunicații mobile are la bază în mod integrat/integral comutația pe baza protocolului IP, atât pentru partea de transport al serviciilor cât și pentru partea de semnalizări și management al rețelei.

Deși beneficiile aduse de un suport IP multimedia integrat sunt semnificative, diferențierea serviciilor oferite și asigurarea unui management al resurselor din punctul de vedere al operatorului rămâne în continuare o provocare. Cum problema unui management QoS cap-la-cap nu a fost rezolvată în mediile IP cablate, cu atât mai mult această problemă rămâne atunci când serviciile sunt rulate într-un mediu radio.

Standardul 3G dezvoltat în cadrul 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) propune un suport QoS cap-la-cap având la bază un sistem de politici de management PBNM (*Policy-Based Network Management*).

Suportul oferit este gândit pentru o arhitectură ce înglobează rețele cu suport IP integrat. Managementul rețelei bazat pe sistemul de politici (PBNM) garantează cerințele solicitate de servicii prin gestionarea resurselor și capacității rețelei folosind politicile definite de operator [Kim03]. În general, managementul bazat pe sistemul de politici necesită patru categorii de elemente componente:

- (1) cadrul de generare al politicilor de management (*policy management tool*);
- (2) spațiul de gestionare al politicilor de management (*policy repository*);
- (3) decizia privind locul de aplicare al politicii de management PDP (*Policy Decision Point*);
- (4) decizia privind locul de impunere al politicilor de management PEP (*Policy Enforcement Point*).

În timp, 3GPP a rezolvat problemele de scalabilitate ale mecanismului PBNM și le-a inclus în diferite versiuni publice, numite *Releases*.

Soluția QoS cap-la-cap definită de 3GPP este prezentată în versiunile publice *Release 6* [TR 23.207] și *Release 7* [TR 23.802] și integrează următoarele elemente:

- (1) PDF (*Policy Decision Function*);
- (2) AF (*Application Function*);
- (3) router IP sau gateway la granița domeniului numit GGSN (*Gateway GPRS Support Node*).

Aceste elemente integrează componentele generale ale unui model de management PBNM.

AF (*Application Function*) este componenta ce asigură controlul resurselor pentru aplicațiile IP suplimentare, mapând cerințele QoS de la nivelul aplicației prin intermediul setului de semnalizări SIP/SDP (*Session Initiation Protocol/Session Description Protocol*). Cerințele sunt transmise apoi sub formă de politici informaționale componente decizionale PDF.

PDF (*Policy Decision Function*) este componenta propusă în vederea controlului politicilor locale bazată pe serviciile obținute prin intermediul componente AF.

PDF impune politici decizionale pe baza informațiilor de la nivel sesiune și control al accesului la mediu transmise de AF și comunică aceste decizii gateway-ului IP de la granița domeniului.

Managementul QoS cap-la cap de tip PBNM propus de 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) pentru aceste versiuni este orientat pe cerințele rețelelor mobile 3G, eliminând în felul acesta o serie de elemente pe care alte servicii non-IP le utilizează.

Arhitectura rețelei prezentată în primele versiuni publice (*releases*) 3GPP a evoluat într-un nou model arhitectural SAE (*System Architecture Evolution*), iar noua rețea nucleu EPC (*Evolved Packet Core*) a fost proiectată în vederea asigurării convergenței diferitelor categorii de rețele de acces ca UMTS, 3GPP, WLAN sau oricare alte tehnologii de acces non-3GPP [TR 23.282], [TS 23.402].

Cum fiecare din aceste tehnologii vine cu specificul său în ceea ce privește funcțiile de acces și de management QoS al resurselor, 3GPP propune ca rețeaua să gestioneze contextul echipamentului utilizator într-o entitate de management al mobilității MME (*Mobility Management Entity*), iar serviciile rulate și contextul rețelei să fie gestionate într-o entitate numită planul utilizator UPE (*User Plane Entity*).

Pentru a asigura transparența tehnologiei de acces în raport cu rețeaua nucleu, traficul generat de către rețelele de acces este integrat într-o entitate centrală IASA (*Inter Access System Anchor*).

Platforma de furnizare a serviciilor poartă numele de sistem IP multimedia IMS (*IP Multimedia System*) [TR 23.228].

IMS reprezintă o platformă completă de semnalizări ce integrează în mod uniform diferite tipuri de servicii din perspectiva utilizatorului, eliminând conceptul de arhitectură independentă (*silo-architecture*).

În vederea managementului resurselor QoS inter-domeniu, arhitectura SAE integrează o funcție QoS informațională QIF (*QoS Information Function*) ce interacționează cu toate modelele individuale ale rețelelor de acces incluse în platforma IMS.

Scopul funcției QIF este acela de a gestiona resursele disponibile în rețeaua de acces și de a le rezerva în avans în urma solicitărilor sosite de la funcția de generare a politicilor de rezervare a resurselor PCRF (*Policy and Charging Resource Function*).

Corelând solicitările transmise prin intermediul funcției PCRF cu informația utilizator existentă în MME, pe baza setului de politici gestionate de QIF, utilizatorului îi este comunicată informația necesară conectării la parametri de calitate ai serviciului solicitat.

Raportul 3GPP TR 23.836 [TR 23.836] prezintă un studiu de fezabilitate în vederea testării cerințelor QoS la interconectarea rețelelor WLAN și UMTS.

Recomandarea notabilă a raportului este faptul că pentru asigurarea unui suport QoS inter-domeniu între rețeaua WLAN și platforma arhitecturală IMS este necesară rularea DiffServ ca și mecanism QoS între echipamentul utilizator WLAN și punctul de acces la rețea PDG (*Packet Data Gateway*).

Mai mult, punctul de acces la rețea PDG trebuie să suporte politici de management și să interfațeze cu funcția decizională a politicilor PDF.

Ultima versiune publică 3GPP TS 23.228 [TR 23.228] din seria numărul 7 (*Release 7*) descrie arhitectura IMS ca fiind complet independentă de tehnologia de acces, având funcțiile de acces specifice complet separate de rețeaua nucleu IMS.

Deși aspectele privind potențialul utilizatorului și capacitatea rețelei sunt tratate în mod diferențiat, gestionarea resurselor în mod centralizat via GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), respectiv PDF (*Policy Decision Function*) introduce numeroase limitări comparat cu modelul QoS distribuit propus pentru viitoarele rețele Internet FI (*Future Internet*).

5.2.2 Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea ETSI

3GPP este principala organizație care definește conceptul IMS (*IP Multimedia System*). Conceptul a fost introdus începând cu versiunea publică numărul 5 (*Release 5*), 3GPP ajungând la versiunea publică numărul 7 (*Release 7*).

TISPAN (*The Telecoms and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networks*) este organismul de standardizare din cadrul ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) specializat pe convergența rețelelor fixe și mobile.

Dacă 3GPP este concentrată în definirea conceptului IMS, ca și viitor mediu integrator al rețelelor de acces, ETSI TISPAN (*ETSI Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking*) definește conceptul viitoarei generații de rețea NGN (*Next Generation Network*).

Grupul TISPAN din cadrul ETSI a lucrat la specificațiile NGN pornind în principal de la arhitectura de semnalizare a serviciilor IMS propusă în cadrul 3GPP.

Cum atât 3GPP cât și ETSI discută despre conceptul integrator al viitoarei generații de rețea, există părți în care efortul celor două organisme se intersectează.

În esență, platforma IMS este o arhitectură suprapusă de rețele ce oferă suport QoS serviciilor multimedia atât pentru rețelele de acces cablate cât și pentru rețelele de acces radio. În raportul ETSI TR 180 001 este descrisă arhitectura NGN și modul în care ea poate fi interconectată cu arhitectura 3GPP IMS în vederea garantării serviciilor multimedia [ETSI TR 180]. Acest document este într-un stadiu incipient, fiind la prima versiune publică.

În termeni generali, viitoarea generație de rețele NGN este văzută ca o arhitectură integratoare a tehnologiilor existente. NGN este dezvoltată având ca scop integrarea unor servicii multiple (voce, date, video etc.) și facilitarea convergenței rețelelor fixe și mobile.

În acord cu definițiile ITU-T [itut-web], viitoarea generație de rețele NGNs este proiectată pe suportul tehnologiilor cu comutație de pachete (*IP*), având capacitatea de a asigura parametrii QoS în stratul transport în mod independent de stratul serviciilor.

Din această definiție se poate observa că în tendința de garantare a suportului QoS inter-sistem există o separare a planului rețelei de planul aplicațiilor, gestionarea celor două fiind realizată de un plan de management.

Arhitectura funcțională TISPAN NGN, conform primei versiuni publice (*Release 1*) [ES 282-02], este structurată pe două straturi: stratul transport și stratul serviciilor.

Ambele straturi au la bază un set de entități funcționale ce interacționează în vederea asigurării unor noi funcții în cadrul subsistemelor componente. TISPAN NGN a definit ca parte integrantă a stratului transport, două substraturi:

- (1) RACS (*Resource and Admission Control Subsystem*) [ES 282-03] și
- (2) NASS (*Network Attachment Subsystem*) [ES 282-04].

Subsistemul de control al resurselor și al accesului RACS (*Resource and Admission Control Subsystem*) garantează aplicațiilor rezervarea de resurse în rețelele de transport.

Implementând mecanismele de rezervare a resurselor și interacționând cu stratul serviciilor, subsistemul RACS asigură suportul QoS pentru aplicațiile rulate în cadrul arhitecturii TISPAN NGN [ETSI TS 185] [ETSI ES 282].

Deoarece subsistemul RACS a fost considerat ca fiind segmentul critic în vederea asigurării suportului QoS, versiunea inițială TISPAN NGN (*Release 1*) [ES 282-02] a inclus descrierea mecanismelor QoS doar în segmentul de acces al rețelei. Pentru garantarea suportului QoS cap-la-cap este însă necesară extinderea acestor mecanisme în partea de nucleu al rețelei și în partea de utilizator.

Dacă în cazul modelului arhitectural 3GPP setul de politici ce guverna peste elementele componente garanta un management QoS inter-domeniu, în cazul modelului arhitectural propus de ETSI TISPAN setul de mesaje schimbate între entitățile funcționale sunt destinate asigurării suportului QoS.

Arhitectura TISPAN NGN conține următoarele entități funcționale, în ordinea accesării lor de la nodul sursă către entitățile decizionale până la granița rețelei de acces:

- (1) AF (*Application Function*) ce interacționează cu subsistemul RACS pentru a solicita garantarea serviciilor QoS;
- (2) SPDF (*Service Policy Decision Function*) ce autorizează fiecare solicitare prin verificarea conținutului informațional al acesteia;
- (3) A-RACF (*Access-Resource and Admission Control Function*) asigură funcții de control al autorizării și al rezervării resurselor în rețeaua de acces, fiind capabilă de a accepta/refuza solicitările primite de la SPDF pe baza mecanismelor de autorizare;
- (4) RCEF (*Resource Control Enforcement Function*) este localizată în nodurile de la capetele rețelei de acces și are rolul de a impune politicile de trafic ce garantează rezervarea resurselor în segmentul de rețea accesat;
- (5) BGF (*Border Gateway Function*) asigură impunerea politicilor la interfața dintre două domenii IP aflate sub controlul aceleiași entități funcționale SPDF.

Subsistemul RACS suportă două metode distincte de management:

- (1) rezervare în două etape – metodă în care resursele sunt solicitate spre a fi rezervate odată cu prima cerere de rezervare și sunt alocate după confirmarea disponibilității rețelei prin transmiterea unei a doua cereri de rezervare și
- (2) rezervare într-o singură etapă – o metodă în care solicitarea și alocarea resurselor se face prin transmiterea unei singure solicitări de rezervare.

Suplimentar, subsistemul RACS oferă două modele QoS peste rețeaua de transport:

- (1) QoS garantat - garantează resursele rețelei de acces prin controlul parametrilor QoS și
- (2) QoS relativ - furnizează un control al resurselor rețelei de acces pe baza diferențierii serviciilor în clase.

În concluzie, analizând versiunea publică ETSI [ES 282-02], putem afirma că arhitectura TISPAN NGN nu prezintă mecanisme de asigurare QoS inter-domeniu, ele fiind definite doar la nivelul rețelelor de acces. Extinderea acestor mecanisme către utilizatorul final în vederea asigurării unui QoS cap-la-cap este regăsită în abordarea unor proiecte de cercetare și lucrări științifice descrise ulterior în acest capitol.

5.2.3 Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea ITU-T

ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*), sectorul de standardizare pentru segmentul telecomunicații din cadrul organizației ITU, a inițiat un grup de lucru ce abordează problema controlului și semnalizărilor QoS inter-domeniu pentru viitoarea generație de rețele NGNs [ITU-Y.2111].

În contrast cu rețelele optimizate pentru aplicații specifice, ITU-T NGN este o rețea globală multi-serviciu ce trebuie să satisfacă un set larg de cerințe particulare serviciilor rulate.

ITU-T NGN a adoptat subsistemul RACS (*Resource and Admission Control Subsystem*), subsistem compatibil integral cu arhitectura RACS ETSI.

În cadrul subsistemului arhitectural RACS ITU-T, elementul central în satisfacerea cerințelor utilizator îl reprezintă o structură dinamică RACF (*Resource and Admission Control Functions*). Astfel, asigurarea controlului și suportului QoS cap-la-cap inter-domeniu în cadrul arhitecturii ITU-T NGN este atribuită sistemului de politici de management RACF. Modulul funcțional RACF are rol de negociator între:

- (1) funcțiile de control ale serviciilor SCF (*Service Control Functions*) și
- (2) funcțiile de transport TF (*Transport Functions*) ce vizează asigurarea suportului QoS în rețeaua de acces și rețeaua nucleu [ITU-Y.2012].

Pe baza cererilor primite de la SCF, entitatea funcțională RACF determină disponibilitatea resurselor în rețeaua de transport, ia decizii de alocare a resurselor și introduce regulile de aplicare a deciziilor luate.

De asemenea, RACF interacționează cu TF în scopul de a controla una sau mai multe dintre următoarele funcții ale rețelei de transport:

- (1) alocarea și rezervarea capacității de transport;
- (2) filtrarea pachetelor;
- (3) clasificarea traficului;
- (4) marcarea traficului;
- (5) adresarea și translatarea porturilor.

RACF integrează și două categorii de entități funcționale destinate controlului și alocării resurselor:

- (1) PD-FE (*Policy Decision – Functional Entity*) și
- (2) TRC-FE (*Transport Resource Control – Functional Entity*).

Rolul entității funcționale PD-FE este acela de a decide politicile decizionale finale ce vizează rezervarea resurselor, ținând cont de:

- (1) tipul serviciului rulat;
- (2) debitul aplicației și prioritatea alocată;
- (3) informațiile privind disponibilitatea rețelei de transport;
- (4) politicile de alocare a resurselor privind capacitatea de transfer pe traseul ascendent și descendent.

Pe baza deciziilor luate, PD-FE solicită TRC-FE detectarea și determinarea resurselor QoS necesare pe traseul pe care urmează a fi rulat fluxul informațional dat.

Astfel, entitatea funcțională TRC-FE implementează politicile de control ale accesului la resurse funcție de politicile decizionale furnizate de entitatea PD-FE. De asemenea, TRC-FE are rolul:

- (1) de a colecta și menține topologia rețelei de transport;
- (2) de a determina starea rețelei de transport;
- (3) de a autoriza alocarea resurselor în rețeaua de transport funcție de disponibilitatea acesteia.

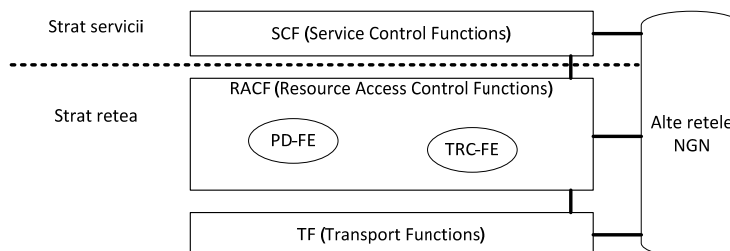


Figura 5.1 Entitatea RACF în cadrul arhitecturii NGN

În cadrul arhitecturii ITU-T NGN există o gamă largă de rețele de acces și tehnologii multiple în rețeaua nucleu, garantarea serviciilor QoS cap-la-cap este alocată subsistemului RACF. Diferențierea funcțională asigurată de cele două entități PD-FE și TRC-FE oferă posibilitatea integrării unei arhitecturi cu acces heterogen sub o platformă comună de control și gestionare a resurselor.

5.2.4 Implementări QoS inter-domeniu într-o arhitectura NGN ITU-T

Există trei modalități majore de asigurare a unui suport QoS inter-domeniu:

- (1) ordonarea pe baza priorităților asociate;
- (2) rezervarea resurselor;
- (3) controlul acceptării.

Controlul acceptării, văzut ca modalitate de asigurare a suportului QoS inter-domeniu, poate fi realizat prin două metode:

- (1) controlul accesului în baza planificării resurselor (*utilization-based admission control*) și
- (2) controlul accesului în baza transmiterii unui set de probe (*probe-based admission control*).

Controlul accesului în baza planificării resurselor oferă posibilitatea unei alocări QoS statice, resursele necesare fiind estimate în faza de control a accesului. Metoda este simplă, însă nu ține seama de contextul dinamic al rețelei, făcând ineficientă utilizarea ei într-un mediu cu acces heterogen.

Controlul accesului în baza transmiterii unui set de probe utilizează eficient rețelele resursei, realizând o adaptare dinamică a cerințelor QoS la potențialul rețelei. Metoda este mult mai potrivită pentru un mediu cu acces hibrid, dezavantajul fiind încărcarea rețelei nucleu cu probele transmise de fiecare utilizator în parte [Che04].

În continuare este analizată implementarea celor două metode de asigurare a mecanismului QoS cap-la-cap prin controlul accesului peste o arhitectură NGN ITU-T.

O primă abordare sugerată în literatura de specialitate [Hem08] este utilizarea unor scheme dinamice de control al resurselor în locul schemelor statice.

Funcție de parametri QoS solicitați, suportul QoS este realizat în una sau mai multe etape, stările logice asociate procesului de management al resurselor fiind:

- (1) autorizarea;
- (2) rezervarea;
- (3) garantarea resurselor.

O a doua abordare prezentată în literatura de specialitate [Ban06] propune implementarea mecanismului QoS inter-domeniu prin controlul acceptării în rețeaua nucleu.

Dacă în lucrarea [Hem08] controlul acceptării este asociat unor scheme dinamice de rezervare a resurselor, lucrarea [Ban06] prezintă controlul acceptării în conjuncție cu un mecanism de transmitere a unor probe în vederea estimării stării nodului destinație.

Conform recomandărilor RACS ITU-T, SCF este o noțiune abstractă ce integrează entitățile funcționale din stratul de servicii.

Cum serviciile furnizate în rețeaua NGN necesită garantarea parametrilor QoS, mecanismul de control al acceptării apelurilor CAC (*Call Admission Control*) este unul din cele mai importante mecanisme asociate RACF în vederea asigurării eficienței managementului resurselor QoS și al furnizării unor servicii de calitate către utilizator.

În lucrarea [Hem08] este prezentat un model dinamic de politici de management NGN implementate la nivelul componentei funcționale RACF ITU-T. Utilizat în conjuncție cu mecanismul CAC, modelul poate parcurge una din cele trei scheme de control al resurselor propuse. Diferențierea între cele trei scheme de control al resurselor o face numărul de pași în care se parcurg stările logice asociate modelului. Există trei stări logice asociate procesului de control QoS al resurselor:

- (1) autorizarea resurselor – pe baza setului de politici implementate, resursa QoS este identificată în termeni de valoare maximă disponibilă în rețea;
- (2) rezervarea resurselor – în baza disponibilității resursei autorizate, resursa QoS este rezervată;
- (3) garantarea resurselor – pentru fluxul de date solicitat, resursa QoS rezervată este garantată prin intermediul funcției de transport.

Cele trei scheme de control al resurselor propuse sunt:

- (1) schema de control al resurselor într-o singură fază – autorizarea, rezervarea și garantarea resurselor sunt realizate într-un singur pas; resursa QoS solicitată este garantată direct ca urmare a parcurgerii cu succes a fazelor anterioare de autorizare și rezervare;
- (2) schema de control al resurselor în două faze – autorizarea și rezervarea sunt realizate într-un singur pas, garantarea resurselor făcându-se în cea de-a doua fază;
- (3) schema de control al resurselor în trei faze – autorizarea, rezervarea și garantarea resurselor sunt realizate în mod secvențial în trei pași independenți.

Lucrarea [Hem08] prezintă performanțele primelor două categorii de scheme dinamice de optimizare a resurselor, parametrii de evaluare fiind:

- (1) întârzierea în stabilirea apelului;
- (2) disponibilitatea resurselor solicitate;
- (3) probabilitatea de blocare.

Rezultatele obținute arată faptul că schema de control a resurselor în două faze are o întârziere mai mare decât cea într-o singură fază, dar în același timp oferă o mai bună distribuire a resurselor disponibile pentru traficul neprioritar.

Totodată, rezultatele arată că o schemă dinamică a controlului resurselor are performanțe ridicate în alocarea resurselor rețelei comparativ cu una statică.

Inconvenientul major al controlului accesului în baza transiterii unui set de probe este încărcarea rețelei nucleu cu trafic redundant. Lucrarea [Ban06] propune reducerea încărcării traficului în rețeaua nucleu prin transmiterea probelor utilizate numai în rețeaua de acces, până la punctul de ieșire către rețeaua nucleu NGN.

În locul transiterii probelor în toată rețeaua nucleu, este propus un mecanism de predicție a numărului de hopuri de parcurs până la ieșirea către rețeaua de acces a nodului destinație. Acest mecanism de control al accesului este localizat în entitatea interfață (*gateway*) dintre rețeaua de acces și rețeaua nucleu.

Mecanismul presupune rularea protocolului IPv6 și existența suportului IP DiffServ și MPLS DiffServ în rețeaua nucleu NGN. Totodată se presupune că RACS suportă controlul accesului și al rezărvării resurselor și este localizat în entitatea interfață dintre rețeaua de acces și rețeaua nucleu.

Pentru implementarea QoS end-to-end, protocolul IPv6 utilizează, în câmpul antet ce codifică clasa de serviciu TC (*Traffic Class*), codurile de diferențiere a serviciilor DSCP (*Differential Service Code Point*) transmise de mecanismul DiffServ.

Suplimentar utilizării câmpului de codificare al clasei de serviciu (*Traffic Class*) din antetul IPv6, algoritmul utilizează și câmpul ce contorizează numărul de hopuri (*Hop Limit*). Utilizarea acestui câmp are ca scop asigurarea unei diferențieri a serviciilor pe baza numărului de noduri de traversat prin rețea (*hop*).

Un utilizator care solicită o conexiune QoS cap-la-cap, trimite cererea către RACS. Prin intermediul componentei PDF (*Policy Decision Function*), subsistemul RACS determină și furnizează parametrii de rețea care îndeplinesc condițiile solicitate, estimând totodată numărul de noduri de traversat (*Hop Limit*) în rețea.

Comparând valoarea câmpului ce estimează numărul de noduri de parcurs (*Hop Limit*) cu valoarea DSCP ce indică prioritatea QoS solicitată, subsistemul RACS determină dacă numărul de noduri rămase de parcurs vor afecta calitatea serviciului indicat prin valoarea DSCP.

Funcție de rezultatul acestei comparații, RACS decide modificarea sau nu a valorii DSCP, în condițiile păstrării calității solicitate. Dacă numărul de hopuri rămase de parcurs degradează calitatea serviciului rulat în rețea, subsistemul RACS decide creșterea priorității prin modificarea valorii DSCP.

Astfel, mecanismul de control al accesului prezentat în lucrarea [Ban06], prin estimarea numărului de noduri până la destinație în rețeaua nucleu NGN ITU-T, eficientizează utilizarea resurselor în contextul asigurării unui QoS inter-domeniu.

5.2.5 Abordarea conceptului de management QoS inter-domeniu în viziunea IETF

IETF (*Internet Engineering Task Force*) a propus cateva modele de servicii și mecanisme cu scopul satisfacerii cerințelor QoS. Dintre acestea, cele mai notabile sunt:

- (1) modelul cu servicii integrate, *IntServ* [RFC 2475];
- (2) modelul cu servicii diferențiate, *DiffServ* [RFC 2475];
- (3) comutația multiprotocol pe bază de etichete, *MPLS* [RFC 2702] [RFC 3031];
- (4) ingineria traficului [RFC 3272];
- (5) constrângerile de rutare [RFC 2386].

Abordarea aleasă de modelul IntServ (***Integrated Services***) este una per-flux și are la bază utilizarea protocolului RSVP (***Resource ReSerVation Protocol***) [RFC 2205].

Ideea de bază este de a rezerva resursele necesare înaintea rulării traficului de date pe traseul rezervat. Înainte ca datele să fie transmise, aplicațiile trebuie mai întâi să stabilească traseele și să rezerve resursele. RSVP este folosit ca protocol de semnalizare pentru setarea traseelor și rezervarea resurselor. Odată ce rezervarea este făcută, toate router-ele de pe traseu trebuie să recunoască pachetele aparținând unui flux specific rezervat.

Această activitate poate deveni o procesare imposibilă în momentul în care sute de mii de fluxuri trebuie gestionate.

Similar, necesitatea schimbului și stocării informației de rezervare per-flux încarcă router-ele centrale [Eic00]. Modelul IntServ oferă servicii garantate, dar implică probleme de scalabilitate.

Datorită problemelor de scalabilitate ale modelului IntServ, modelul DiffServ (***Differentiated Services***) a constituit o alternativă. Abordarea aleasă de modelul DiffServ este bazată pe agregarea fluxurilor. Fluxurile utilizator sunt controlate doar la intrarea în rețea. Fluxurile servite de un același serviciu sunt grupate și sunt tratate la același nivel QoS.

Într-un mediu cu servicii diferențiate, elementele rețelei au responsabilitatea în clasificarea pachetelor, în implementarea politicilor de trafic și în alocarea resurselor pentru satisfacerea cerințelor QoS. Arhitectura Diffserv se bazează pe controlul capacității de transfer și nu pe semnalizările per-flux, făcând modelul DiffServ mult mai scalabil decât modelul IntServ [Chi04].

Comutația multiprotocol pe bază de etichete poate fi folosită la asigurarea unor garanții QoS pentru pachetele IP, chiar dacă motivația inițială a arhitecturii MPLS nu a fost aceea a unui suport QoS [Gio03].

Pachetelor le sunt alocate etichete la intrarea în domeniul MPLS. Clasificarea, transmiterea și serviciile oferite sunt realizate pe baza etichetelor atașate.

Cerințe și propuneri privind asigurarea unui suport QoS prin intermediul unor tunele MPLS au fost transmise către IETF de importanți furnizori de servicii în domeniu [RFC 4105], [RFC 4216].

Ingineria traficului este procesul de aranjare a traficului în rețea, astfel încât congestiile datorate utilizării inegale a resurselor rețelei să fie evitate.

Evitarea congestiilor și evitarea degradării performanței serviciilor ce apar în cazul congestiei sunt chestiuni complementare. Astfel, ingineria traficului este complementară serviciilor diferențiate.

Extensia pentru ingineria traficului aplicabilă protocolului RSVP este cunoscută ca și RSVP-TE (***Resource ReSerVation Protocol – Traffic Engineering***) [RFC 3209].

Protocolul RSVP-TE este utilizat într-un mod mai specific în rețelele IP cu suport MPLS (***MultiProtocol Label Switching***): mesajele RSVP-TE urmează traseul stabilit pe baza etichetelor MPLS, iar mesajele de semnalizare RSVP-TE stabilesc parametrii comunicației pe traseul MPLS selectat.

Constrângerile de rutare sunt utilizate în determinarea rutelor supuse unor constrângeri multiple, cum ar fi capacitatea de transfer sau întârzierile minime. Constrângerile de rutare provin din conceptul de rutare QoS.

Dându-se constrângerile QoS ale unui flux sau ale unor fluxuri agregate, rutarea QoS oferă traseul cel mai probabil ce poate întruni cerințele QoS. Constrângerile de rutare extind rutarea QoS prin considerarea altor constrângeri cum ar fi politicile de constrângere.

Dacă modelul IntServ poate asigura garanții QoS cantitative fluxurilor individuale, modelul DiffServ poate asigura garanții calitative unor fluxuri multiple agregate.

În acest caz, tendința logică este abordarea în care RSVP garantează un serviciu cap-la-cap, rețeaua fiind responsabilă de transmiterea pachetelor folosind mecanismul DiffServ.

Combinarea mecanismului QoS cu servicii integrate pentru semnalizările cap-la-cap și a mecanismului QoS cu servicii diferențiate în rețea este propunerea ce depășește limitările fiecărui mecanism aplicat în parte. Interoperarea dintre aceste două mecanisme pare să fie o soluție promițătoare de furnizare a unui QoS cap-la-cap într-o manieră scalabilă.

Ideea de bază este utilizarea modelului DiffServ în rețeaua nucleu și a modelului IntServ/RSVP în rețeaua de acces [Ber00].

Cu toate soluțiile posibile oferite prin intermediul modelelor IntServ și DiffServ și a combinațiilor acestora pentru asigurarea unui QoS inter-domeniu, preocuparea majoră a IETF este dezvoltarea unei soluții QoS integrate.

Asigurarea suportului QoS într-un singur domeniu necesită adoptarea uneia din soluțiile prezentate anterior. Acest aspect devine însă o provocare dificilă într-un sistem multi-domeniu compus din rețele IP diferite și acces heterogen.

IETF, prin grupul de lucru NSIS (*Next Steps in Signaling*), definește cerințele semnalizărilor QoS inter-domeniu pornind de la protocolul RSVP [RFC 3726].

Cerințele sunt grupate conform câtorva criterii, cum ar fi: arhitectura rețelei, cerințele de mobilitate și securitate și flexibilitatea sistemului [Fux05].

Eforturile grupului de lucru NIST s-au concretizat într-un set de semnalizări aplicabile arhitecturii NIST [RFC 4080]. Astfel, arhitectura NIST integrează două straturi protocol:

- (1) NTLP (*NSIS Transport Layer Protocol*), stratul protocol de transport al mesajelor de semnalizare de la strat aplicație în arhitectură NIST; stratul NTLP integrează GIST (*General Internet Signaling Transport*), strat general de transport al semnalizărilor rulate peste arhitecturile de protocol standard (*UDP, TCP, SCTP*);
- (2) NSLP (*NSIS Signaling Layer Protocols*), stratul protocoalelor de semnalizări NIST; fiecare dintre semnalizările aplicațiilor rulate stabilesc regulile și formatul de procesare al mesajelor schimbate între entitățile NSLP.

În categoria protocoalelor NSLP sunt incluse funcțiile QoS NSLP destinate semnalizărilor pentru rezervarea de resurse [nslp07-05]. Din perspectiva unui nod arhitectural, o cerere QoS poate fi generată de către o aplicație locală, de către o aplicație utilizator sau de către sistemul de management al rețelei.

Capacitatea furnizării unui QoS inter-domeniu este asigurată la nivelul setului de funcționalități ale modulului QoS NSLP. Modulul QoS NSLP dedicat tratării cererilor QoS permite:

- (1) transmiterea de semnalizări pentru orice model QoS dintr-o rețea de tip IP (*IntServ* sau *DiffServ*) [clnsis02-05] [difnsis03-05];
- (2) transportul parametrilor QoS specifici în cadrul unei arhitecturi 3GPP;
- (3) încapsularea cerințelor specifice de rezervare de resurse (de exemplu, capacitate de transfer) de tip QSPEC (*QoS SPECifications*) [qospec05-05].

Setul de funcționalități din cadrul modulului QoS NSLP asigură un limbaj comun de tratare a cerințelor QoS, lucru ce determină un anumit grad de interoperabilitate în cadrul unei arhitecturi QoS multi-domeniu.

5.3 Problematika QoS inter-domeniu în abordarea unor proiecte de cercetare

Așa cum a fost menționat, focalizarea inițială în asigurarea suportului QoS a fost concentrată pe un domeniu administrativ unic. Asigurarea unui suport QoS multi-domeniu necesită însă cooperare și un nivel de interacțiune mult mai ridicat între furnizorii de servicii, furnizorii de infrastructură, furnizorii de conținut și nu în ultimul rând de beneficiarii serviciilor oferite.

În ultimii ani au fost lansate de către Comisia Europeană câteva proiecte de cercetare majore în aria suportului QoS inter-domeniu. Deși orientate pe problematici diferite, aceste proiecte au ca obiectiv dezvoltarea unor soluții pentru asigurarea suportului QoS în noua generație a rețelelor hibride NGN. Aspectele abordate în aceste proiecte sunt orientate pe câteva direcții:

- (1) definirea și managementul serviciilor;
- (2) managementul resurselor rețelei și ingineria traficului;
- (3) monitorizarea rețelei;
- (4) suportul QoS inter-domeniu.

Lucrarea prezintă pe scurt abordarea QoS inter-domeniu în următoarele proiecte IST (*Information Society Technologie*): EuQoS, AQUILA, ENTHRONE, MESCAL, CADENUS, TEQUILA, EMANICS [[ist-web](#)].

EuQoS (*End-to-end Quality of Service support over heterogeneous networks*) [[euqos-web](#)] este un consorțiu de organizații al cărui obiectiv principal este analiza, dezvoltarea, integrarea, testarea, validarea și demonstrarea unei tehnologii cu suport QoS cap-la-cap multi-domeniu.

Proiectul definește o arhitectură NGN ce administrează trasee QoS peste diferite domenii administrative (domenii IP/MPLS) și rețele heterogene (rețele de acces UMTS, xDSL, Ethernet, WiFi, satelitare).

Arhitectura de rețea propusă este asemănătoare mai mult unei arhitecturi Internet decât cea de tip IMS. Utilizatorul dispune de o interfață ce permite transmiterea unor cereri, independent de sistemul de semnalizări și de politicile specifice ale furnizorului de servicii. Acest lucru permite operatorului de rețea (furnizorul de infrastructură) să ofere noi servicii pe baza solicitărilor clientului/aplicației sursă [[Cal08](#)].

Arhitectura permite luarea unor decizii în rețea în două faze: procesul de invocare a resurselor, lansat de utilizatorul final în vederea realizării unor sesiuni QoS cap-la-cap și procesul de furnizare al resurselor, lansat de operator în vederea realizării configurărilor în rețea. În contrast cu arhitectura de tip IMS care necesită utilizarea protocolului SIP pentru semnalizări, sistemul EuQoS asigură utilizatorilor o interfață simplă care nu necesită utilizarea unui protocol de semnalizare specific aplicațiilor.

Arhitectura EuQoS divide paradigma QoS cap-la-cap în jurul celor două axe: axa verticală, ce include planul serviciilor, planul de control și planul transport și axa orizontală, ce integrează tehnologiile rețelei nucleu și cele ale rețelelor de acces. În cadrul sistemului EuQoS sunt diferențiate două entități funcționale:

- (1) entitatea EuQoS server și
- (2) entitatea EuQoS client.

Interacțiunea dintre entitatea EuQoS server și EuQoS client este realizată la interfața dintre planurile sistemului EuQoS.

La nivelul entității EuQoS server este localizat planul serviciilor și planul de control. Rolul planului serviciilor este acela de a permite clienților EuQoS de a solicita stabilirea, eliberarea și modificarea sesiunilor EuQoS cu garantarea unui QoS cap-la-cap.

Pe de altă parte, planul control gestionează planul transport în vederea asigurării traseelor QoS cap-la-cap solicitate prin intermediul planului serviciilor.

Conform autorilor [Cal08], rămân totuși câteva elemente nerezolvate în vederea implementării sistemului QoS cap-la-cap EuQoS, și anume problema securității, NAT și controlul erorilor din sistem.

Proiectul AQUILA (*Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-based Layered Architecture*) propune implementarea unei arhitecturi de rețea QoS în vederea controlului, monitorizării și accesului la resurse prin suprapunerea unui plan de control al resurselor RCL (*Resource Control Layer*) peste infrastructura unei rețele cu suport DiffServ [aquila-web].

Managementul global al resurselor este realizat prin utilizarea unor agenți de control ce alocă și controlează resursele în rețea [Eng03].

Planul de control al resurselor RCL realizează managementul QoS în cadrul arhitecturii multi-domeniu prin intermediul a trei entități logice:

- (1) EAT (*End-user Application Toolkit*), o interfață grafică rulată de utilizator prin intermediul căreia aplicația solicită rețelei resurse QoS;
- (2) ACA (*Admission Control Agent*), agent de control ce realizează controlul acceptării resurselor solicitate la capetele rețelei; fiecare ACA primește de la utilizator solicitările cu cerințele QoS specifice, autorizarea cererilor și alocarea fiind controlată de către RAC;
- (3) RAC (*Resource Control Agent*), agent de monitorizare și control al resurselor disponibile în rețea; fiecare entitate marginală a rețelei ACA este controlată la rândul ei de către un agent de control al resurselor RAC.

Realizarea unui QoS inter-domeniu și rularea mecanismului de rezervare a resurselor utilizând platforma de agenți propusă în cadrul proiectului necesită însă algoritmi de control al traficului, de control al acceptării și alocării resurselor, în vederea optimizării și utilizării eficiente a resurselor rețelei.

Proiectul ENTHRONE (*End-to-end QoS through Integrated Management of Content, Networks and Terminals*), continuat cu faza a doua ENTHRONE II, abordează problematica furnizării în timp real a fluxurilor multimedia cap-la-cap cu garanții QoS peste o arhitectură QoS inter-domeniu [enthr-web].

În acest sens, proiectul propune o arhitectură ce conține următoarele entități: furnizorii de servicii SP (*Service Providers*), furnizorii de conținut CP (*Content Providers*), suportul în rețea NP (*Network Providers*) și utilizatorii CST (*Customers*) [Obr08]. Toate entitățile arhitecturale se bazează pe un set de interacțiuni de tipul SLA (*Service Level Agreements*), respectiv SLS (*Service Level Specifications*) [enthr-d2.3f], [Bor06].

Sistemul QoS cap-la-cap inter-domeniu proiectat în cadrul proiectului definește o entitate numită EIMS (*Enthrone Integrated Management Supervisor*), iar managementul serviciilor SM (*Service Management*) este parte integrantă a EIMS. Partea de gestionare a serviciilor SM localizată la nivelul NP, interacționează cu entitatea responsabilă de managementul serviciilor la nivelul fiecărui domeniu IP de pe traseul cap-la-cap.

La rândul său, arhitectura de management al serviciilor SM integrează patru planuri de management:

- (1) SPL (*Service Plane*), ce stabilește setul de reguli SLA/SLE între operatori, furnizori și beneficiari ai serviciilor;
- (2) MPL (*Management Plane*), ce alocă resurse pe termen lung și gestionează traficul cap-la-cap în cadrul arhitecturii;

- (3) CPI (*Control Plane*), ce alocă resurse pe termen scurt și gestionează problemele de rutare;
- (4) DPI (*Data Plane*), ce răspunde de transferul traficului multimedia și de activarea mecanismelor de control ce asigură nivelul QoS solicitat.

Într-o arhitectură multi-domeniu, MPI și CPI sunt separate logic în două sub-planuri: sub-planul inter-domeniu și sub-planul intra-domeniu. Acest lucru permite fiecărui domeniu posibilitatea de a avea propriul mecanism de gestionare și control al politicilor de management [Bor05].

În concluzie, arhitectura de management EIMS propusă gestionează aspectul heterogen al rețelelor nucleu și de acces prin intermediul entității SM ce operează peste infrastructura fizică a rețelei, fiind independentă de tehnologiile particulare.

Cu toate avantajele pe care le oferă, rămân însă numeroase probleme neacoperite: determinarea traseului QoS inter-domeniu cap-la-cap, descoperirea serviciilor și accesul la resursele QoS ale rețelei.

Proiectul MESCAL (*Management of End-to-end Quality of Service Across the Internet at Large*) de tip IST [mescal-web] propune câteva modele specifice ale unor astfel de interacțiuni peste domeniul multi-furnizor Internet [How05].

Soluția propusă în cadrul proiectului MESCAL se bazează pe interacțiunea dintre furnizorii de servicii la nivel de strat aplicație pSLS (*provider Service Level Specifications*) în vederea stabilirii unor premise comune de transfer al traficului QoS în funcție de identificarea, selectarea și menținerea unor rute QoS la nivelul stratului rețea.

Astfel, suportul QoS inter-domeniu este realizat prin crearea și stabilirea unor trasee LSP (*Lable Switched Path*) ce au la bază utilizarea protocolului MPLS și a conceptului PCS (*Path Computation System*) [mescal-d3.2].

Proiectele CADENUS (*Creation And Deployment of ENd-User Services in premium IP networks*) [caden-web] și TEQUILA (*Traffic Engineering for Quality of Service in the Internet, at Large Scale*) [tequila-web] tratează asigurarea suportului QoS bazându-se pe tehnici de ingineria traficului atât din perspectiva centralizată cât și perspectiva distribuită.

CADENUS introduce politici de trafic la diferite nivele, începând cu translatarea nivelului serviciului și continuând cu un set de comenzi pentru setarea echipamentului de rețea. Aceste politici sunt stocate în baze de date accesibile entităților care gestionează resursele.

Arhitectura CADENUS este una orientată pe servicii, incluzând blocuri funcționale la nivelul interfeței dintre utilizator și furnizorul de servicii (*SP*) și între furnizorul de servicii (*SP*) și operatorul rețelei (*NP*) [Cor03].

În proiectul TEQUILA, utilizarea politicilor de nivel înalt este elementul cheie în controlarea algoritmilor de inginerie a traficului.

Abordarea propusă distinge două seturi de funcții: ale serviciilor și ale resurselor, arhitectura propusă integrând entitățile de management al serviciilor SM (*Service Management*), ingineria traficului TE (*Traffic Engineering*) și subsistemul de monitorizare MS (*Monitoring Subsystem*) [Myk03].

În particular, politicile sunt folosite pentru dimensionarea rețelei, planificarea traficului și controlul dinamic al resurselor (DiffServ peste MPLS).

Proiectul MESCAL este o extensie a proiectului TEQUILA ce aplică regulele de management QoS al resurselor la domenii multiple.

Furnizarea unui trafic multimedia cu garanții QoS inter-domeniu este una din provocările majore regăsită în proiectele de cercetare în aria rețelelor IP wired/wireless.

Tendința actuală de gestionare automată a resurselor (*autonomic resource management*) a dus la definirea unor politici de asigurare a unui control mai bun al domeniilor sistemului [Gan05].

Aceste domenii pot fi alcătuite din mai multe rețele de acces, fiecare având propriile-i caracteristici, echipamente și utilizatori [Ier05]. Astfel, politicile sunt definite pentru a controla furnizarea serviciilor și pentru a configura automat resursele rețelei.

Astfel, un alt câștig al comunității științifice l-a reprezentat integrarea rezultatelor proiectului EMANICS (*European Network of Excellence for the Management of Internet Technologies and Complex Services*) la sfârșitul anului 2007 [emanics-web].

Proiect European din categoria rețelei de excelență (*European Network of Excellence*), a reunit cercetători din 13 institute de cercetare active ce abordează tematica managementului în viitoarea rețea Internet (*Future Internet*).

Deși managementul resurselor rețelei a jucat întotdeauna un rol important, relativ recent a primit un grad de atenție ridicat din partea comunităților de cercetare, interesul fiind accelerat de oportunitățile de finanțare ale Comisiei Europene (*European Comission*) [ist-web] prin programele de tip cadru FP7 în Europa, respectiv ale Fundației Științifice Naționale [nsf-web] (*National Science Foundation*) în Statele Unite.

Dorința NSF de a reproiecta conceptul Internet s-a concretizat prin inițiativa GENI (*Global Environment for Network Innovations*) [Du07]. GENI este alcătuit din două componente majore: o platformă experimentală și programul de cercetare FIND (*Future Internet Design*).

5.4 Problematika managementului QoS inter-domeniu în abordarea unor publicații și manifestări științifice

Unul din elementele de impact ce exprimă preocuparea și interesul comunității științifice în domeniul problematice managementului rețelei și serviciilor, îl reprezintă lansarea revistei jurnal *IEEE Transactions on Network and Service Management* (TNSM) în luna martie a anului 2008 [Pav08].

Dedicată exclusiv aspectelor managementului intra și inter-sistem, *IEEE Transactions on Network and Service Management* se constituie ca un volum de publicații științifice ce tratează strict problematica managementului rețelelor și serviciilor în sisteme de telecomunicații.

Vizând atât mediului academic cât și mediului de cercetare industrial, publicația jurnal analizează problema managementului QoS al rețelelor și al serviciilor atât din punct de vedere conceptual, cât și din punct de vedere practic [comsoc-web].

În luna iunie a anului 2008, publicația a ajuns la editarea celui de-al doilea volum de lucrări științifice. Topicul lucrărilor publicate în acest jurnal include modele de management, arhitecturi și structuri de management al sistemelor de comunicații, tematici de interoperabilitate și control cooperativ al resurselor, aspecte ale managementului integrat sau distribuit, proactiv sau reactiv, urmărește dezvoltarea conceptului de auto-management și rețele autonome, a managementului QoS și a managementului aplicațiilor rulate în rețele radio, fixe sau mobile.

Sub aceeași umbrelă a organizației IEEE, revista *IEEE Communications Magazine*, publicație a *IEEE Communications Society*, a dedicat în mod special Numărul 10 al Volumului 46 din luna Octombrie 2008 abordării tematicii managementului rețelelor și serviciilor, intitulând conținutul *Topics in Network and Services Management*.

Evenimentul cheie al sfârșitului de an 2008 în domeniul managementului QoS l-a reprezentat întâlnirea internațională dedicată managementului rețelor și serviciilor, 4th *International Week on Management of Networks and Services*, (MANWEEK 2008) [[manw-web](#)].

Manifestarea a găzduit șase dintre cele mai prestigioase ateliere de lucru și conferințe ce au avut ca tematică principală managementul rețelor și al rețelelor.

Acestea au fost: 19th *IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management* (DSOM 2008), 11th *IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia and Mobile Networks and Services* (MMNS 2008), 8th *IEEE International Workshop on IP Operations and Management* (IPMO 2008), 3rd *IEEE International Workshop on Modeling Autonomic Communications Environments* (MACE 2008), 4th *IEEE/IFIP International Workshop on End-to-end Virtualization and Grid Management* (EVGM 2008) și 5th *International Workshop on Next Generation Networking Middleware* (NGNM 2008).

Identificând tendințe de viitor și analizând oportunități de colaborare în cadrul tematic al programelor ICT FP 7, chiar numai tematică acestor manifestări deschid o largă perspectivă asupra a ceea ce înseamnă interesul pentru managementul resurselor în rețelele de telecomunicații.

Este interesant de trecut în revistă parte din temele de interes abordate la aceste manifestări, ca și exponent al preocupărilor comunității științifice în domeniu la această oră: managementul rețelor și serviciilor NGN/4G (*Next Generation Networks/4th Generation*); virtualizarea rețelor și serviciilor; auto-managementul și virtualizarea în sisteme distribuite; managementul QoS în medii virtualizate; algoritmi dinamici de determinare a topologiei rețelei și selectare a serviciilor; managementul securității într-un mediu virtual; sistemele personale de management al conținutului; managementul furnizării serviciilor în timp real; managementul rețelor de tip ad-hoc/mesh; managementul serviciilor orientate pe arhitecturi (SOA, *Service Oriented Architectures*); managementul inter-straturi; managementul QoS în rețele multimedia mobile; managementul distribuției conținutului informațional în rețea; virtualizarea rețelei în vederea managementului rețelei și al furnizării serviciilor; managementul rețelei într-un mediu de acces wireless heterogen; managementul autonom al rețelei; managementul rutării intra-/inter-domeniu; auto-capacitatea ca și auto-configurare, auto-optimizare, auto-depanare și auto-management; managementul rețelor wireless suprapuse; corelarea condițiilor rețelei cu cerințele serviciilor, descentralizarea și cooperarea autonomă a entităților de gestionare; tehnici și algoritmi de operare autonomă; modele de management autonom, modele de negociere a serviciilor, a rețelei, a componentelor funcționale și a echipamentelor; politici de management în medii virtualizate, arhitecturi și platforme cadru ale procesului de virtualizare și stocare a resurselor; arhitecturi de nivel intermediar (*middleware architectures*) pentru rețele convergente și aplicații colaborative; alocarea resurselor și accesul heterogen la rețea în rețele convergente, asigurarea QoS și diferențierea, taxarea și plata serviciilor.

Evenimentele anuale majore dedicate managementului arhitecturilor de telecomunicații sunt reprezentate de simpozionul 11th *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management* (IM 2009) [[im-web](#)] și de simpozionul *Network Operations and Management Symposium* (NOMS 2010) [[noms-web](#)].

Reeditarea evenimentului 5th *International Week on Management of Networks and Services* (MANWEEK 2009) [[man09-web](#)] reprezintă o confirmare în plus a faptului că gestionarea resurselor rețelei cât și a serviciilor reprezintă o prioritate în noile tipuri de sisteme de telecomunicații, cu atât mai mult cu cât aspectul este ridicat în conjuncție cu noile concepte de management autonom, integrat, distribuit și virtualizat.

5.5 Problematika QoS inter-domeniu în abordarea unor comunități științifice

În mod implicit abordările comunităților științifice privind problematika QoS inter-domeniu se regăsește în soluțiile propuse de organismele de cercetare și în modelele arhitecturale ale proiectelor de cercetare.

Cu toate acestea, în lucrările publicate ale diferitelor comunități științifice distingem două categorii majore de soluții QoS inter-domeniu propuse:

- (4) semnalizările QoS cap-la-cap inter-domeniu și
- (5) politicile de management al resurselor bazate pe arhitecturi de tip client/server.

Observații:

1. *Ambele categorii de abordări QoS inter-domeniu vizează un management QoS al resurselor distribuit în rețea.*
2. *Soluțiile propuse de această lucrare prin modelul QoS inter-domeniu utilizând agenți mobili, respectiv prin modelul I-NAME pot fi încadrate în categoria politicilor de management bazate pe arhitecturi de tip client/server. Aceste modele vor fi prezentate în Capitolul 6 al lucrării.*

O primă arhitectură IP multi-domeniu, având caracteristici similare cu cele promovate de această lucrare (modelul QoS inter-domeniu cu agenți mobili, respectiv modelul I-NAME) este prezentat în [Bab04].

Lucrarea demonstrează eficiența unei scheme de rezervare a resurselor utilizând agenții mobili prin creșterea benzii alocate, scăderea ratei de apeluri pierdute și scăderea probabilității de blocare în comparație cu un sistem de rezervare al resurselor care nu utilizează agenți mobili.

Dacă arhitectura wireless hibridă integrează doar rețele wireless locale și sisteme celulare 3G, modelele QoS inter-domeniu ale lucrării prezintă un mecanism QoS scalabil care integrează de asemenea rețele satelitare și rețele wireless metropolitane.

Utilizarea agenților mobili în asigurarea resurselor pentru rețele de telecomunicații este sugerată și în [Orz05]. Lucrarea este axată pe posibilitatea utilizării agenților mobili în managementul QoS al resurselor.

În sistemul descris, agenții mobili sunt responsabili cu multiplexarea și demultiplexarea fluxurilor informaționale dintre sursă și destinație. Acest mecanism QoS este unul în trafic (*in-traffic*) fiind mai apropiat de conceptul QoS intra-domeniu, însa mecanismele QoS inter-domeniu propuse prin modelele prezentate în lucrare sunt unele în afara traficului (*out off-traffic*).

Lucrarea [Ier05] propune un mecanism QoS în vederea managementului și alocării QoS a resurselor la un strat intermediar, transparent utilizatorilor sistemului.

În contextul unui sistem hibrid terestru-satelitar, lucrarea promovează un mecanism de control al resurselor ce are la bază paradigma client/server. Este propus un sistem multi-agent compus din trei topologii agent de bază.

Fiecare topologie agent are alocată o sarcină specifică, dedicată controlului aplicației, locației utilizatorului și managementului resurselor sistemului. Lucrarea promovează platforma bazată pe agenți mobili ca fiind soluția la cerințele QoS cap-la-cap a viitoarelor scenarii heterogene în tehnologie 4G.

Asigurarea unui suport cu garanții QoS într-o arhitectură IP ce integrează domenii administrative multiple este abordată și în lucrarea [Xiu06].

Lucrarea prezintă o arhitectură suport QoS inter-domeniu suprapusă peste domenii administrate de furnizorii de servicii multipli. Mecanismul separă problema administrării resurselor în planuri distincte, definind seturi de funcționalități la nivelul planurilor de management, control și date.

Modelul descris oferă posibilitatea îmbinării cerințelor QoS cu nivelul specificațiilor serviciilor negociate între domeniile administrative adiacente, realizând în felul acesta un traseu QoS cap-la-cap într-o arhitectură multi-domeniu.

Lucrarea [Wei06] abordează problema furnizării inter-domeniu a resurselor (*resource provisioning*) considerând constrângerile multiple ale aplicațiilor sursă.

Suportul pentru garantarea calității serviciilor furnizate, din perspectiva [Wei06], necesită un mecanism de identificare a posibilelor trasee inter-domeniu. Mecanismul trebuie să fie distribuit în rețea, iar constrângerile pe care trebuie să le admită vizează următorul set de parametri: capacitatea de transfer, întârzierile de transmisie, jitter-ul, rata de pierderi și costurile administrative ale conexiunii. Caracteristica de bază a mecanismului este capacitatea de a identifica traseele QoS cap-la-cap pe baza acestui set de constrângeri multiple.

Pentru a aplica însă setul de constrângeri multiple solicitate, rămâne problema identificării resurselor disponibile în rețea. Cum RSVP nu este o soluție ce satisface cerințele unui mecanism distribuit, [Wei06] propune dezvoltarea unui mecanism cu auto-adaptare (euristic) care ia deciziile de selectare a rutelor pe baza unor probe transmise în rețea cu scopul de a identifica traseul optim.

Lucrarea [Rac08] prezintă o abordare de asigurare a suportului QoS inter-domeniu peste domenii IP heterogene. Scopul este acela de a gestiona calitatea serviciilor furnizate în interiorul fiecărui domeniu administrat și de a garanta nivelul solicitat pe un traseu din cadrul acelui domeniu.

Propunerea [Rac08] are la bază existența unei entități de tip BB (*Bandwidth Broker*) care să realizeze controlul fiecărui domeniu administrativ, atât la nivel de servicii cât și la nivel de infrastructură tehnologică.

Pentru a garanta un traseu cap-la-cap inter-domeniu, este propusă utilizarea unui protocol de semnalizare QoS inter-domeniu. Acest protocol este utilizat pentru a facilita comunicarea între entitățile de tip BB și este independent de protocoalele de rutare intra-domeniu sau de infrastructură. Avantajul sugerat în [Rac08] este impunerea unui nivel minim al constrângerilor în rețea ce are ca rezultat menținerea unui grad ridicat de libertate pentru utilizatorii și furnizorii de servicii.

5.6 Concluzii

Capitolul a prezentat problematica QoS inter-domeniu din perspectiva organismelor de standardizare, a proiectelor de cercetare și a comunității științifice în domeniu. Interesul în abordarea gestionării QoS resurselor inter-domeniu poate fi observat din numărul tot mai mare al manifestărilor științifice și al publicațiilor ce abordează această tematică.

Din sinteza realizată, putem afirma că modelele QoS inter-domeniu prezentate sunt soluțiile particulare ale modului în care arhitecturile de telecomunicații au evoluat, fiecare organism de standardizare gândind o soluție QoS inter-domeniu din propria-i perspectivă.

Această perspectivă a fost dictată și limitată de constrângerile unor soluții intermediare funcționale implementate pe scară largă, de facilitățile oferite deja prin intermediul acestor soluții, cât și de componenta economico-financiară care reclamă amortizarea investițiilor făcute.

Înțelegerea soluțiilor propuse de organisme de standardizare, nu doar că izolează și definește zonele de interes în vederea necesității implementării mecanismelor QoS inter-domeniu, dar este și o bună resursă de a intui focalizarea comunității științifice și implicit a tendinței de standardizare a problematicei QoS inter-domeniu.

Astfel, se pot desprinde câteva concluzii majore în urma analizei făcute:

- (1) tendința de translatare a mecanismelor QoS de la nivelul straturilor acces la mediu (sau legături de date) și rețea la straturile superioare; cu alte cuvinte, se observă tendința de trecere de la comutația de pachete la comutația de aplicații, promovându-se ideea de transfer parametric inter-straturi (*cross-layering*);
- (2) necesitatea descentralizării managementului rețelei, prin distribuirea capacității decizionale cât mai apropiată de nivelul utilizator; o abordare centralizată nu este scalabilă într-o arhitectură inter-domeniu, numai un management distribuit în rețea putând satisface cerințele multi-aplicație/multi-furnizor/multi-domeniu;
- (3) gruparea problemelor de management într-un plan separat, în așa numitul spațiu de gestionare a resurselor, promovându-se astfel ideea proiectării resurselor de la nivelul infrastructurii fizice într-un spațiu logic virtual al resurselor (*resource virtualization*);
- (4) separarea aspectelor de management al resurselor la nivelul aplicației de cele de la nivelul rețelei de transport.

În concluzie, așa după cum am văzut, sunt imaginate numeroase soluții de interconectare cu asigurarea unui mecanism de management QoS al resurselor inter-sistem, exemple în acest sens fiind multitudinea de soluții propuse numai de organisme de standardizare fără a mai menționa aici soluțiile gândite de centrele de cercetare industriale sau academice.

În consecință, nu doar componenta tehnică va limita impunerea și implementarea unor soluții ale managementului QoS inter-domeniu, ci limitările vor fi dictate și de constrângerile de ordin economic, financiar, iar uneori chiar politic.

Capitolul 6

Evaluarea modelelor de implementare a suportului QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid

Asigurarea suportului QoS inter-domeniu pentru servicii de tip multimedia este una din provocările actuale majore. Arhitecturile multi-domeniu pot fi compuse din una sau mai multe rețele de acces și transport, fiecare având propriile-i caracteristici, echipamente și utilizatori.

În acest context, am propus modelul I-NAME (*In-Network Autonomic Management Environment*), un mediu reactiv ce realizează în mod automat controlul și managementul QoS al resurselor între diferitele domenii ale unei arhitecturi de rețea cu acces hibrid.

6.1 Structura capitolului

Cu scopul de a asigura un suport QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid, lucrarea propune două soluții: modelul QoS inter-domeniu utilizând agenți mobili și modelul I-NAME. Specificul modelelor implementate și scenariile de test, configurarea parametrilor și evaluarea rezultatelor obținute în cazul fiecărei analize, sunt prezentate în cele opt paragrafe ale capitolului după cum urmează:

- (1) structura capitolului sintetizează modul de organizare al elementelor prezentate și introduce aspectele majore ale abordării suportului QoS inter-domeniu în sistemele cu acces hibrid;
- (2) cunoașterea parametrilor ce caracterizează entitățile rețelei reprezintă componenta de bază a unui model cu suport QoS inter-domeniu; colectarea informațiilor despre contextul rețelei utilizând agenții mobili este evaluată în arhitecturi cu acces hibrid de tip WLAN – satelitar, respectiv WLAN –UMTS; rezultatele au fost sintetizate în lucrări științifice [Pus06b] [Pus06e] [Pal08a], în lucrări prezentate în cadrul unor sesiuni de comunicări științifice [Pus07c] [Pus07e] și în rapoartele unor contracte de cercetare [Pus09];
- (3) conjuncția dintre constrângerile aplicațiilor din nodul sursă și contextul dinamic al rețelei, realizată prin intermediul profilelor QoS ale modelului I-NAME, reprezintă componenta esențială a mecanismului cu suport QoS inter-domeniu propus; rezultatele au fost sintetizate în lucrări științifice [Pus08f] [Pus08c] și în rapoartele unor contracte de cercetare [Pus09] [4ward-d4.2];
- (4) profilele QoS, setul de parametri QoS cu ponderile parametrice asociate, fluxul mesajelor transmise între nodurile rețelei și modul de integrare în simulatorul de rețea QualNet dau specificul modelului I-NAME propus; aceste elemente sunt descrise în paragraful ce prezintă implementarea și integrarea modelului I-NAME;

- (5) specificul mediului de simulare, caracteristicile tehnologiilor integrate și modul de configurare al aplicațiilor de test sunt prezentate în configurarea parametrică a scenariilor de simulare;
- (6) selectarea celui mai bun traseu până la nodul destinație cu asigurarea unei valori a întârzierilor de transmisie cap-la-cap impuse de aplicația sursă, identificarea modificărilor în rețea cu păstrarea setului de valori de prag inițial solicitate și adaptarea sursei în mod treptat la caracterul dinamic al rețelei prin fragmentare și codare adaptivă, reprezintă criteriile de evaluare ale modelului I-NAME;
- (7) capacitatea modelului I-NAME de a asigura un management integrat în rețea și de a gestiona resursele rețelei într-un strat virtual distinct de infrastructura rețelei, este analizată prin prisma conceptelor INM și VNet;
- (8) ultimul paragraf sintetizează conținutul capitolului, grupând rezultatele obținute în concluzii generale și concluzii particulare.

6.2 Model QoS inter-domeniu utilizând agenți mobili

Impunerea unei priorități statice în nodul sursă de tip precedentă IP la nivel de strat rețea sau categorie de acces AC la nivel de strat legături de date, fără a considera însă contextul rețelei, poate duce la o utilizare inefficientă a resurselor disponibile în rețea așa cum am văzut în capitolul anterior.

Furnizarea unor servicii de bandă largă într-o arhitectură inter-domeniu, în mod permanent și independent de locația utilizatorului, nu este doar o necesitate, ci o cerință obligatorie a viitoarelor sisteme de acces.

O soluție pentru a oferi astfel de servicii este dezvoltarea unor rețele wireless cu acces hibrid (*hybrid wireless access networks*).

Rețelele wireless cu acces hibrid au deschis astfel noi oportunități pentru aplicațiile ce necesită acces de bandă largă și cerințe de mobilitate. Rularea unor aplicații distribuite critice în timp peste astfel de medii impune cerințe stricte cu privire la managementul resurselor inter-domeniu și implicit a parametrilor QoS [Ier05].

Intuim astfel necesitatea translatării mecanismelor intra-domeniu de management al resurselor într-un spațiu de tratare unitară a cerințelor utilizatorului și al contextului rețelei, într-un plan numit plan de management intrinsec al rețelei (*in-network management*).

Abordarea unui management QoS intrinsec al gestionării resurselor are avantaje multiple:

- (1) integrarea și abordarea unitară a contextului rețelei;
- (2) virtualizarea resurselor rețelei într-un plan de management distribuit în rețea;
- (3) co-existența și interoperabilitatea funcțiilor de management.

Atât cerințele aplicației cât și suportul pentru resursele rețelei pot varia în timp. De aceea, este necesară implementarea unui mecanism de management QoS inter-domeniu al resurselor care să realizeze:

- (1) alocarea adaptivă a resurselor sistemului și
- (2) dirijarea adaptivă a aplicațiilor funcție de disponibilitatea resurselor în sistem.

Astfel, adoptarea unor semnalizări QoS inter-domeniu și a unor politici de management al resurselor bazate pe arhitecturi de tip client/server [Pal08], în contextul sistemelor distribuite cu scopul gestionării și controlului adaptiv al resurselor, reprezintă încercările actuale de asigurare a unui suport QoS inter-domeniu.

Paragraful propune o abordare a rezervării resurselor inter-domeniu utilizând agenți mobili într-o rețea IP wireless hibridă [cnscis-td520].

Scopul cercetării este de a face accesul la servicii flexibil, dinamic, personalizat (din punctul de vedere al utilizatorului) și optimizat (din punctul de vedere al rețelei), conform cerințelor QoS inter-domeniu.

Suportul QoS inter-domeniu utilizând agenții mobili, necesită îndeplinirea a trei faze [Pus08c]:

- (1) negocierea resurselor: în faza de negociere, agenților mobili le este transmisă informația care să le permită să acționeze în mod inteligent și să-și îndeplinească sarcinile fără intervenția utilizatorului;

- (2) alocarea resurselor: în faza de alocare, agenții mobili garantează un traseu între sursă și destinație ce îndeplinește cerințele negociate în faza anterioară;
- (3) managementul resurselor: în faza de management, agenții mobili monitorizează rețeaua în vederea menținerii resurselor alocate în faza anterioară.

Toate aceste faze impun existența unor agenții domeniu dedicate și a unor scenarii specifice în care aceștia să acționeze [Pus06b].

Mecanismul de management QoS al resurselor cu ajutorul agenților mobili a fost pus în evidență în cadrul a două arhitecturi de rețea inter-domeniu:

- (1) o arhitectură de tip WLAN – satelitară;
- (2) o arhitectură de tip WLAN – UMTS.

Performanța mecanismului de management al resurselor a fost evaluată punându-se în evidență capacitatea de selectare a celui mai bun traseu QoS pe baza întârzierilor de transmisie cap-la-cap utilizând agenți mobili.

6.2.1 Analiza potențialului rețelei și a cerințelor utilizator folosind agenți mobili

Așa după cum am văzut, o abordare tradițională centralizată a problemelor QoS nu este o soluție adecvată. Ideea unui sistem centralizat unic ce deține controlul utilizatorilor și resurselor nu răspunde cerințelor actuale ale unei entități localizate într-un sistem wireless heterogen.

Astfel, putem spune că soluția bazată pe utilizarea agenților mobili este una din soluțiile propuse pentru asigurarea controlului și managementului QoS inter-domeniu într-un sistem cu acces hibrid [Pus06e].

Administrarea rețelelor presupune colectarea unor cantități importante de date despre capacitățile rețelei, date care trebuie apoi analizate înainte de a iniția activități de administrare a resurselor [Sal00]. În același timp, există așteptări ale utilizatorilor legate de creșterea calității serviciilor furnizate.

Aceste provocări și solicitări au dus la cercetări despre agenții mobili. În locul unei aplicații centralizate și de obicei foarte vaste care va coda inteligența sistemului, poate exista un număr relativ mic de sisteme, sau agenți care sunt implicați într-un efort comun de rezolvare a problemelor.

Un agent mobil este o entitate software autonomă compusă din cod și date care are capacitatea de a migra în rețea de la o stație la alta și de a-și continua execuția la destinație.

Agenții mobili sunt orientați pe realizarea unei sarcini, pot comunica cu alți agenți și își continuă execuția chiar și după ce stația care i-a lansat este deconectată de la rețea.

Când un agent ajunge la un server, acesta este livrat unui mediu de execuție. După autentificarea agentului (dacă aceasta este necesară) acesta își execută codul, iar dacă este necesar se autotransferă pe alt server sau interacționează cu alți agenți. După realizarea obiectivului, agentul livrează rezultatele clientului care l-a emis sau altui server.

În general, sunt discutate patru atribute principale ce diferențiază un agent de un program: reacția la mediu, autonomia, orientarea pe o sarcină și persistența.

Alți autori consideră definitorii alte caracteristici ale unui agent mobil: este situat în interiorul unui mediu de execuție, acționează în numele altor entități în mod autonom, expune anumite nivele ale atributelor învățării, cooperării și mobilității și își îndeplinește acțiunile folosind pro-activitatea și/sau reactivitatea [Bab04].

Principalele avantaje aduse de utilizarea agenților mobili în aplicațiile de management al rețelei sunt:

- (1) reducerea încărcării rețelei: folosirea agenților mobili reduce traficul de date; aplicațiile distribuite necesită interacțiuni multiple pentru îndeplinirea unei sarcini; prin trimiterea codului de pe o mașină pe alta, interacțiunile se realizează local, fără a transmite date prin rețea;
- (2) rularea în mod asincron pe mai multe mașini simultan: datorită acestui mod de a rula, timpul de procesare al întregii aplicații scade considerabil; în plus, agenții rulează pe mașinile gazdă chiar dacă se întrerupe conexiunea cu clientul; la restabilirea conexiunii, agentul trimite rezultatele clientului; această caracteristică a agenților mobili îi face foarte atractivi pentru aplicațiile destinate rețelelor wireless;
- (3) adaptarea dinamică: agenții mobili analizează mediul în care rulează, luând decizii în mod dinamic;
- (4) întreținerea ușoară a codului: pentru a schimba anumite funcții, se modifică doar codul agentului mobil, fără a necesita intervenții pe fiecare mașină gazdă;
- (5) independența de platformă: agenții nu depind de sistemul de operare sau de protocolul de transport, rulând în propriul mediu; datorită acestei caracteristici, agenții mobili pot fi folosiți pentru aplicații ce rulează în rețele hibride;
- (6) înglobarea protocoalelor: evoluția protocoalelor de comunicație poate fi o problemă pentru dezvoltatorii de aplicații; prin folosirea agenților mobili, se creează canale de comunicație în care protocolul de comunicare este definit de dezvoltatorul aplicației;
- (7) reducerea timpilor de procesare în rețea: sistemele în timp real necesită un răspuns imediat la schimbările din rețea; un sistem centralizat nu poate răspunde imediat datorită întârzierilor; pe de altă parte, un agent mobil care tranzitează rețeaua poate răspunde prompt la orice schimbare.

Elementele privind actualizarea localizării și cunoașterea contextului rețelei sunt chestiunile esențiale pentru modelul bazat pe agenții mobili, cunoașterea acestui set parametric permițând agentului mobil să ia decizii legate de mobilitate și managementul resurselor în mod dinamic.

Sunt implementate diferite mecanisme, implementați diferiți algoritmi de management al resurselor ce permit agentului mobil să detecteze starea curentă a conexiunilor din rețea și să localizeze alți agenți cu care poate interacționa.

Cele mai potrivite aplicații care sunt implementate pe platforme cu agenți mobili ar fi: căutarea de informații, filtrarea fluxurilor de date, servicii dedicate echipamentelor portabile, măsurarea setului de parametri QoS și aplicații de comerț electronic [Orz05].

Măsurarea setului de parametri QoS (debit, întârzieri de transmisie, jitter, număr de pachete pierdute) este importantă în special în cazul aplicațiilor rulate în timp real.

Aceste aplicații trebuie să satisfacă cerințele minimale impuse de utilizator, indiferent de contextul rețelei. În astfel de scenarii, agenții mobili pot fi folosiți la implementarea unor mecanisme active de control, cum ar fi: adaptarea serviciilor la cerințele utilizatorilor, adaptarea serviciilor la modificarea condițiilor din rețea, testarea legăturilor și reconfigurarea traseelor [Gan05].

6.2.2 Evaluarea performanței agenților mobili într-o arhitectură de tip WLAN-satelitară

Managementul resurselor poate fi privit din punctul de vedere al rețelei (prin monitorizarea permanentă a parametrilor legăturilor) și din perspectiva aplicației (prin testarea și auto-configurarea legăturilor).

Performanța agenților mobili într-o arhitectură de tip WLAN-satelitară propune evaluarea unui mecanism de management al resurselor din punctul de vedere al aplicației prin măsurarea întârzierii cap-la-cap într-un scenariu inter-domeniu.

Arhitectura de test interconectează un nod sursă SN (*Source Node*) atașat la o rețea wireless locală WLAN (*Wireless Local Area Network*) cu un nod destinație DN (*Destination Node*) conectat prin intermediul unei rețele locale LAN (*Local Area Network*).

Scenariul de test prezintă patru trasee posibile între nodul sursă SN și nodul destinație DN. Două dintre rute sunt realizate prin intermediul unor rețele satelitare geostaționare GEO (*GEostationary Orbit*), iar celelalte două rute folosesc rețele satelitare de orbită joasă LEO (*Low Earth Orbit*).

Urmând principiile enunțate și prezetate în [Pus08c] [cncsis-td520], mecanismul QoS de management inter-domeniu al resurselor este realizat în două faze:

- (1) evaluarea întârzierilor de transmisie cap-la-cap în rețeaua cu acces hibrid utilizând agenți mobili în vederea determinării parametrilor rețelei și
- (2) selectarea traseului optim pentru rularea aplicației conform informațiilor colectate de agenții mobili.

În realizarea acestui studiu a fost utilizat simulatorul ns-2, la care a fost adaptată și ulterior adăugată o aplicație de tip patch ce suportă agenți mobili [ma-web].

Realizarea topologiei de rețea prezentată a avut ca scop crearea unor trasee multiple între nodul sursă și nodul destinație și evaluarea întârzierilor de transmisie cap-la-cap pe aceste trasee.

Cum aplicația de test este sensibilă la întârzierile de transmisie, înaintea rulării acestei aplicații, utilizând platforma cu agenți mobili, este identificată ruta ce oferă valoarea minimă a parametrului de interes.

Întârzierile de transmisie cap-la-cap măsurate utilizând platforma de agenți mobili pe segmentele individuale ale celor patru categorii de legături sunt prezentate în Tabelul 6.1.

Întârzierile de transmisie pe fiecare din segmentele arhitecturii inter-domeniu				
Rețeaua satelitară	Segmentul rețelei WLAN [s]	Segmentul rețelei satelitare [s]	Segmentul rețelei LAN [s]	Întârzierea de transmisie cap-la-cap [s]
AMOS	0.028821	0.235154	0.04938	0.26890
SIRIUS	0.028821	0.233984	0.04938	0.26770
IRIDIUM	0.028821	0.035534	0.04938	0.06930
TELEDESIC	0.028821	0.029234	0.04938	0.06300

Tabelul 6.1. Întârzierile de transmisie cap-la-cap pentru o arhitectură de inter-domeniu de tip WLAN – satelitară

Din analiza rezultatelor obținute se remarcă influența majoră a segmentului rețelei satelitare asupra întârzierii de transmisie cap-la-cap în comparație cu segmentele de acces WLAN, respectiv LAN.

În funcție de locația orbitală a rețelei satelitare și a numărului de sateliți interconectați în stabilirea traseului cap-la-cap, întârzierea de transmisie ia diferite valori pentru fiecare din cazurile analizate.

Impunerea condiției de selectare a traseului cu întârzierea de transmisie cap-la-cap minimă pentru rularea aplicației conform informațiilor colectate de agenții mobili are ca rezultat selectarea traseului optim.

Rezultatele simulărilor indică posibilitatea utilizării agenților mobili în determinarea contextului rețelei, interacțiunea agenților mobili cu cerințele aplicației și apoi adaptarea cerințelor aplicației la modificarea în timp a contextului rețelei reprezintă garanția unui suport QoS inter-domeniu.

6.2.3 Evaluarea performanței agenților mobili într-o arhitectură de tip WLAN – UMTS

În vederea îmbunătățirii performanțelor mecanismului de management QoS inter-domeniu prezentat în paragraful anterior și rezumat în [Pus06e], autorul continuă dezvoltarea conceptului utilizând agenții mobili într-o arhitectură de tip WLAN – UMTS.

Ideea de bază în cadrul dezvoltării mecanismului de management îmbunătățit utilizând agenții mobili este că fiecare nod al rețelei este caracterizat de un set de parametri de trafic: întârziere introdusă, capacitate de transfer, jitter introdus etc.

Rolul agenților mobili în scenariul inter-domeniu este acela de a identifica traseul ce satisface constrângeri parametrice definite la intersecția dintre cerințele aplicației și caracteristicile rețelei, traseu ale cărui caracteristici parametrice sunt variabile în timp.

Scenariul selectat pentru evaluarea performanței mecanismului de management al resurselor utilizând agenții mobili este o arhitectură inter-domeniu de tip WLAN – UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) prezentată în lucrarea [Pus08f].

Rolul mecanismului propus este acela de a indica și selecta cel mai bun traseu între nodul sursă și nodul destinație pe baza estimărilor agenților mobili asupra întârzierilor de transmisie cap-la-cap, conform setului de constrângeri parametrice impus.

Cum mecanismul inter-domeniu de management al resurselor necesită cunoașterea capacității nodurilor și legăturilor din rețea, există două modalități de a avea disponibili parametrii de trafic ce caracterizează starea rețelei:

- (1) mecanismul inter-domeniu de management al resurselor transmite în mod proactiv agenți mobili în rețea pentru a testa capacitatea rețelei, stocând informația în nodurile rețelei;
- (2) aplicația de test transmite în mod reactiv agenți mobili înaintea momentului rulării acesteia, obținând astfel o caracterizare a contextului rețelei pe baza probelor transmise.

Evaluarea performanțelor mecanismului de management al resurselor într-o arhitectură de tip WLAN – UMTS prezentată în lucrarea [Pus08f], îmbină cele două abordări, astfel că operatorul cunoaște starea nodurilor rețelei și totodată aplicația transmite un set de agenți mobili înainte de a fi rulată.

Rolul acestor agenți mobili transmiși în rețea este de a determina contextul rețelei în acord cu setul parametric de constrângeri impuse aplicației de test. În urma rulării de la nodul sursă până la nodul destinație, agenții mobili determină starea rețelei returnând nodului sursă calea selectată conform constrângerilor parametrice.

Dacă niciunul din traseele între cele două noduri nu satisfac constrângerile parametrice ale aplicației sursă, agentul mobil trebuie să solicite aplicației sursă să își adapteze parametrii transmisiei la condițiile identificate în rețea.

Pentru analiza și validarea modelului propus prin simulare, am ales versiunea ns-2.29 a simulatorului de rețele Network Simulator [ns-web].

A fost necesară integrarea pachetului pentru agenți mobili dezvoltat inițial pentru versiunea ns-2.28 [ma-web], respectiv a pachetului pentru mobilitate [umts-web] necesar accesului la implementarea UMTS.

Pachetul de mobilitate adăugat integrează tehnologii radio și cablate cum ar fi IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11b (WLAN), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), satelit și UMTS.

Scenariul considerat pentru evaluarea mecanismului de management inter-domeniu utilizând agenții mobili într-o arhitectură de tip WLAN – UMTS este prezentat în Figura 6.1.

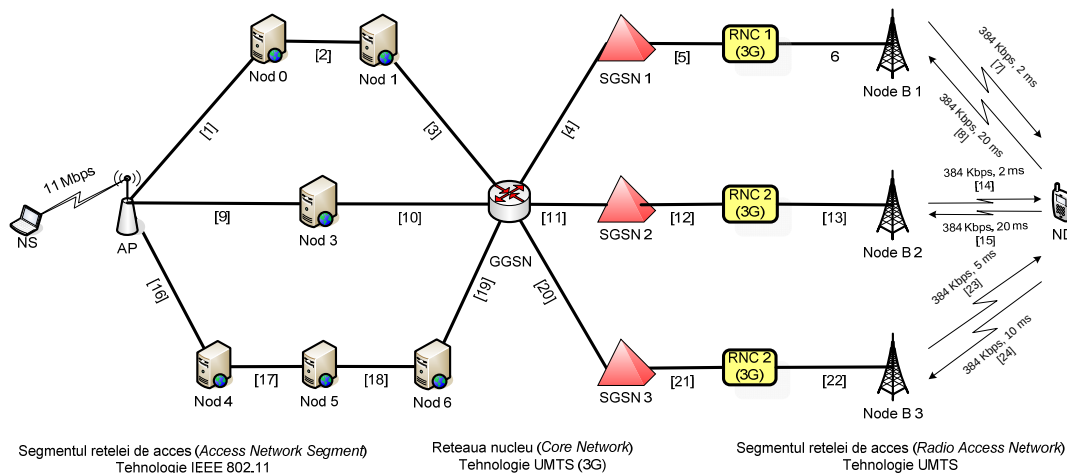


Figura 6.1 Scenariul de test pentru arhitectura de tip WLAN – UMTS

În scenariul de test inter-domeniu, segmentul UMTS include următoarele elemente: stația mobilă MS (*Mobile Station*) asociată nodului destinație ND, stația de bază de tip Node B, entitatea RNC (*Radio Network Controller*), echipamentul de control al Nodului B și GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) gateway al rețelei către domeniul de comutație cu pachete.

Parametrii de pe interfața radio Um a rețelei UMTS sunt diferiți pe canalul descendent comparativ cu cei de pe canalul ascendent.

Datorită fenomenelor de propagare multiple, în cazul unei legături radio bidirecționale, traseul undelor de la sursă la destinație nu este același pe calea de întoarcere. Parametrii caracteristici legăturilor din scenariul de analiză sunt descriși în Tabelul 6.2.

Setările traseelor generice la nivelul arhitecturii inter-domeniu WLAN – UMTS				
Segmentul rețelei	Traseu	Traseul [traseu ID]	Întârzierea de propagare	Capacitatea canalului
Parametrii caracteristici primului traseu al arhitecturii				
WLAN	bidirecțional	1	12 ms	10 Mbps
	bidirecțional	2	3 ms	10 Mbps
	bidirecțional	3	5 ms	10 Mbps
	bidirecțional	4	5 ms	622 Mbps
UMTS	bidirecțional	5	10 ms	622 Mbps
	bidirecțional	6	10 ms	622 Mbps
	descendent	7	2 ms	384 Kbps
	ascendent	8	20ms	384 Kbps

Parametrii caracteristici celui de-al doilea traseu al arhitecturii				
WLAN	bidirecțional	9	5 ms	10 Mbps
	bidirecțional	10	2 ms	5 Mbps
	bidirecțional	11	4 ms	311 Mbps
	bidirecțional	12	13 ms	622 Mbps
UMTS	bidirecțional	13	15 ms	622 Mbps
	descendent	14	2 ms	384 Kbps
	ascendent	15	20ms	384 Kbps
Parametrii caracteristici celui de-al treilea traseu al arhitecturii				
WLAN	bidirecțional	16	10 ms	5 Mbps
	bidirecțional	17	10 ms	10 Mbps
	bidirecțional	18	15 ms	10 Mbps
	bidirecțional	19	15 ms	10 Mbps
	bidirecțional	20	4 ms	622 Mbps
	bidirecțional	21	13 ms	622 Mbps
UMTS	bidirecțional	22	15 ms	622 Mbps
	descendent	23	5 ms	384 Kbps
	ascendent	24	10 ms	384 Kbps

Tabelul 6.2 Descrierea parametrilor caracteristici pentru scenariul inter-domeniu de tip WLAN – UMTS

Scopul acestui scenariu de analiză este de a demonstra faptul că în timp starea legăturilor se modifică, iar traseul inițial selectat cu agenții mobili pe baza constrângerilor parametrice ale aplicației poate să nu mai satisfacă cerințele inițiale ale aplicației de test.

Astfel, nu este suficientă determinarea inițială a unei rute care să satisfacă constrângerile aplicației de test ci, în mod treptat, este necesară testarea arhitecturii de rețea și corelarea parametrilor de trafic cu parametrii aplicației în vederea menținerii legăturii între nodul sursă SN (*Source Node*) și nodul destinație DN (*Destination Node*).

Agenții mobili au fost rulați pe durata a trei intervale de simulare, modelând în felul acesta caracterul variabil în timp al contextului rețelei. De fiecare dată când un agent este trimis în rețea, el va estima o valoare a următorilor parametrii de trafic din rețea: întârziere de transmisie, jitter și număr de pachete pierdute.

De asemenea, aplicația de test are impus un set de constrângeri asupra parametrilor întârziere de transmisie, jitter și număr de pachete pierdute. Constrângerile parametrice impuse aplicației sursă sunt prezentate în Tabelul 6.3.

Cerințele parametrice ale aplicației de test	
Constrângerea parametrică	Valoarea
Întârziere de transmisie [s]	0.06
Jitter [s]	0.00001
Număr de pachete pierdute [%]	1

Tabelul 6.3 Cerințele parametrice ale aplicației solicitate în rețea

Agenții mobili sunt transmiși în rețea la intervale de 1 secundă unul față de celălalt. La intervale de 20 de secunde, agenții mobili fac o analiză a parametrilor de trafic pe calea pe care au fost transmiși.

În urma rulării agenților mobili pe fiecare dintre cele trei trasee indicate în rețea, pentru intervalele de analiză specificate, au fost obținute rezultatele prezentate în tabelele următoare:

Caracteristicile rețelei în urma testării realizate de agenții mobili pe primul traseu de analiză			
Interval de analiză	Întârziere de transmisie [s]	Jitter [s]	Pachete pierdute [%]
1 – 20 [s]	0.039325	0.000000452	1
21 – 40 [s]	0.039927	0.000000067	1
41 – 60 [s]	0.035205	0.0	1

Tabelul 6.4 Caracteristicile rețelei cu rularea agenților mobili pe primul traseu de analiză

Caracteristicile rețelei în urma testării realizate de agenții mobili pe al doilea traseu de analiză			
Interval de analiză	Întârziere de transmisie [s]	Jitter [s]	Pachete pierdute [%]
1 – 20 [s]	0.298300	0.000000281	3
21 – 40 [s]	0.024228	0.0	0
41 – 60 [s]	0.024228	0.0	0

Tabelul 6.5 Caracteristicile rețelei cu rularea agenților mobili pe al doilea traseu de analiză

Caracteristicile rețelei în urma testării realizate de agenții mobili pe al treilea traseu de analiză			
Interval de analiză	Întârziere de transmisie [s]	Jitter [s]	Pachete pierdute [%]
1 – 20 [s]	0.062230	0.000000049	0
21 – 40 [s]	0.062233	0.0	0
41 – 60 [s]	0.062228	0.0000000058	0

Tabelul 6.6 Caracteristicile rețelei cu rularea agenților mobili pe al treilea traseu de analiză

Din setul constrângerilor parametrice, în cadrul algoritmului de selecție, întârzierea medie de transmisie este considerată prioritară jitter-ului și numărului de pachete pierdute. Indicarea celui mai bun traseu între nodul sursă și nodul destinație se face în ordinea priorității parametrilor.

În acord cu cerințele solicitate de aplicația sursă, agenții mobili vor indica pentru primul interval de analiză primul traseu al arhitecturii ca satisfăcând cerințele aplicației.

Pentru al doilea și al treilea interval de analiză, primele două trasee satisfac cerințele aplicației în timp ce traseul al treilea introduce o întârziere medie de transmisie cap-la-cap mult prea mare. Deoarece în cazul celui de-al doilea traseu valoarea jitter-ului introdus în rețea este minim, conform priorităților de tratare a constrângerilor parametrice, calea a doua este indicată de agenții mobili.

Sintetic, traseele de propagare, cerințele aplicației și rezultatele simulărilor pentru intervalele de analiză sunt prezentate în [cncsis-td520] [Pus08c].

În concluzie, putem afirma faptul că rolul principal al agenților mobili în scenariile inter-domeniu analizate (de tip WLAN – satelit, respectiv WLAN – UMTS) este acela de a detecta contextul (sau starea) rețelei prin colectarea din nod în nod a parametrilor de trafic caracteristici fiecărei entități din rețea (nod sau legătură între noduri).

În cazul modelului de management inter-domeniu al primului scenariu de analiză de tip WLAN – satelitar, agenții mobili măsoară și indică în rețea (*in-network*) traseul ce oferă întârzierea de transmisie cap-la-cap cea mai mică.

În timp, starea legăturilor se modifică, iar traseul inițial selectat pe baza constrângerilor parametrice poate să nu mai satisfacă cerințele inițiale. Prin conjuncția dintre setul de constrângeri ce exprimă cerințele aplicației și setul parametric de la nivelul fiecăreia entități ce indică starea rețelei pe traseul cap-la-cap identificate cu ajutorul agenților mobili, în cazul modelului de management inter-domeniu pentru cel de-al doilea scenariu de analiză de tip WLAN – UMTS, s-a demonstrat faptul că o alocare statică a resurselor este mai puțin potrivită în comparație cu un mecanism ce ține cont de dinamica modificării traseelor dintre entități aflate în comunicație.

În scenariile analizate nu sunt rulate aplicații, ele reprezintă doar premisele dezvoltării modelului I-NAME (*In-Network Autonomic Management Environment*), model ce integrează toate concluziile și conceptele însușite în urma rulării acestor mecanisme de management cu agenți mobili.

Testele realizate cu ajutorul agenților mobili în arhitecturi inter-domeniu WLAN – satelitar, respectiv WLAN – UMTS, reprezintă pași făcuți în identificarea cerințelor necesare unui model de management inter-domeniu și totodată o demonstrație a posibilității de gestionare a resurselor în arhitecturi hibride utilizând agenți mobili.

6.3 Descrierea și specificul modelului I-NAME

Asigurarea suportului QoS inter-domeniu pentru servicii de tip multimedia este una din provocările actuale majore. Arhitecturile multi-domeniu pot fi compuse din una sau mai multe rețele de acces și transport, fiecare având propriile-i caracteristici, echipamente și utilizatori.

În acest context, am propus modelul I-NAME (*In-Network Autonomic Management Environment*) ca un mediu reactiv ce realizează în mod automat controlul și managementul QoS al resurselor între diferitele domenii ale arhitecturii de rețea.

6.3.1. Scopul proiectării modelului I-NAME

În implementările actuale, managementul resurselor este un element exterior rețelei având la bază utilizarea și interacțiunea prin intermediul unui protocol al entității centrale cu elementele periferice.

Modelul I-NAME (*In-Network Autonomic Management Environment*) propune o așa numită soluție de management integrat al rețelei INM (*In-Network Management*), soluție ce contrastează cu modelul tradițional centralizat de management al resurselor (*centralized resource management*) rețelei.

Sarcinile modelului de administrare cu management integrat al resurselor sunt distribuite în rețea, nefiind rezidente doar într-o entitate centrală. Din acest punct de vedere rețeaua este mult mai inteligentă, încapsulând (sau integrând) cunoștințe despre capabilitățile caracteristice în nodurile rețelei. În felul acesta, o anumită activitate de management este translatată (sau proiectată) în afara substratului fizic al rețelei (*network substrate*) într-un așa numit mediu (plan, nivel sau strat) de management cu auto-organizare localizat în interiorul sistemului administrat.

Scopul proiectării modelului I-NAME este acela de a dezvolta o soluție de management integrat al resurselor, care să atribuie nodurilor rețelei capacitatea de a detecta în mod automat modificările dinamice ale stării rețelei și de a reacționa corespunzător cerințelor aplicației.

Altfel spus, modelul de management al resurselor I-NAME este definit la interfața dintre nodurile rețelei și aplicațiile rulate de utilizator, asigurând:

- (1) acces personalizat (din punctul de vedere al utilizatorului/aplicației) și
- (2) servicii optimizate (din perspectiva rețelei/operatorului).

Astfel, principalul obiectiv al modelui I-NAME propus este acela de a introduce o anumită predicție în interiorul rețelei prin monitorizarea și colectarea de informații despre resursele solicitate în conjuncție cu cele disponibile în rețea.

6.3.2. Considerente introductive

Noul concept de management distribuit al resurselor (*distributed resource management*) ce plasează funcțiile (sau sarcinile) de management în nodurile rețelei, prin furnizarea unor servicii de trafic multimedia cu asigurarea unor garanții QoS peste o arhitectură multi-domeniu, constituie provocarea majoră a cercetărilor în abordarea FI (*Future Internet*).

În acest scop am propus modelul I-NAME, model QoS ce acționează și reacționează în mod predictiv în rețea prin monitorizarea și colectarea informațiilor pe baza unui set de mesaje de management al resurselor schimbate între nodurile rețelei.

În acord cu tendințele unui management integrat al rețelei, am definit mesajele de management ca și profile QoS (*QoS Profiles*).

Aplicația solicită rețelei resurse, însă numai rețeaua este cea care își cunoaște cel mai bine potențialul. Pentru a intermedia însă conjuncția dintre solicitările aplicației și capacitățile rețelei, sunt utilizate profilele modelului propus I-NAME.

Dualitatea aspectelor vizate de modelul I-NAME este generată de dualitatea posibilităților oferite de utilizarea profilelor QoS vehiculate între nodurile rețelei:

- (1) controlul furnizării serviciilor cu managementul resurselor din perspectiva aplicației și
- (2) configurarea automată a resurselor din perspectiva rețelei.

Considerând toate observațiile anterioare putem concluziona faptul că rolul modelul I-NAME este acela de a activa un comportament de management al resurselor integrat rețelei prin gestionarea și adaptarea succesivă a cerințelor utilizatorului la capacitatea rețelei prin intermediul profilelor QoS.

6.3.3 Premisele modelului I-NAME

Așa cum a fost prezentat, modelul I-NAME propune realizarea managementului QoS al resurselor considerând cerințele aplicației și capacitatea rețelei.

Impunerea în nodul sursă a unei priorități statice (de exemplu, una de tip *IP Precedence* la nivel de strat rețea sau *Access Category* la nivel de strat legături de date etc.), fără a considera contextul rețelei (o arhitectură multi-domeniu integrând rețele de acces și rețea nucleu), poate duce la o utilizare inefficientă a resurselor disponibile în rețea.

Managementul QoS integrat al resurselor rețelei propune adaptarea dinamică a capacității rețelei la cerințele aplicației exprimate printr-un set de parametri QoS. Așa cum am văzut, modelul I-NAME grupează setul de parametri QoS în profile QoS ce descriu aplicația și apoi evaluează capacitatea rețelei. Pe baza profilelor QoS, cerințele aplicației sunt adaptate în mod continuu la disponibilitatea rețelei.

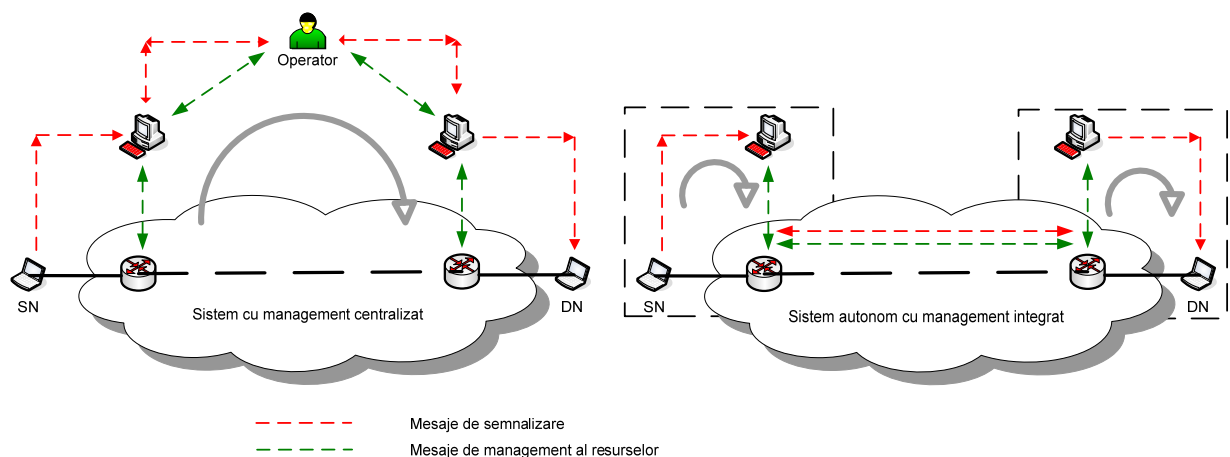


Figura 6.2 Prezentare comparativă a modelelor de management al resurselor: modelul centralizat și modelul distribuit (sau integrat în nodurile rețelei)

Intuim astfel necesitatea translatării planurilor de management centralizat al resurselor într-un spațiu de abordare al cerințelor utilizatorului și al contextului rețelei uniform distribuit, numit plan de management integrat rețelei (*in-network management plane*).

Fiind vorba de o arhitectură multi-domeniu, solicitările aplicației impun rețelei un comportament neuniform în ceea ce privește tratarea priorităților din cel puțin două motive:

- (1) implementarea unor mecanisme QoS particulare fiecărei rețele de acces sau transport – prioritățile alocate la intrarea în rețeaua de acces nu păstrează aceleași criterii de clasificare QoS în toată arhitectura multi-domeniu și
- (2) lipsa de tratare adaptivă a solicitărilor aplicației – rețeaua tratează cerințele aplicației în mod brut, fără a ține seama de minim de resurse necesar rulării aplicației în condiții optime.

Avantajul abordării unui management QoS integrat al gestionării resurselor este multiplu, înglobând o serie de tendințe ale viitoarei generații de rețele (NGN, *Next Generation Network*):

- (1) integrarea și abordarea unitară a contextului rețelei (*network context*);
- (2) virtualizarea resurselor rețelei (*virtualization of network resources*) într-un plan de management distribuit în rețea;
- (3) co-existența și interoperabilitatea într-un spațiu architectural cu acces hybrid (*hybrid access*);
- (4) suport eficient pentru mobilitate și furnizare de servicii fără pierderea conexiunii (*seamless service provision*).

6.3.4 Analiza numerică a modelului I-NAME

Presupunem că pentru aplicația ce urmează a fi rulată în rețea este necesară o întârziere medie de transmisie minimă solicitată $Delay [ms]$. Specific rețelei, considerăm că întârzierea medie de propagare între noduri este $Propagation_Delay [ms]$.

Cum aplicațiile specifice solicită condiții particulare de transmisie, la nivelul fiecărui nod din rețea, pachetele sosite sunt clasificate în acord cu mecanismele QoS. Considerând în mod generic două clase de servicii QoS, întârzierea medie în coada de așteptare pentru clasa cu prioritatea cea mai ridicată o notăm $Higher_Delay [ms]$, iar întârzierea medie în coada de așteptare pentru clasa cu prioritatea cea mai scăzută o notăm $Lower_Delay [ms]$.

De asemenea, presupunem că în rețea există trasee multiple cap-la-cap între nodul sursă (SN, *Source Node*) și nodul destinație (DN, *Destination Node*). Dintre acestea, distingem două trasee de interes:

- (1) un traseu având un număr de noduri asociate mai mare $More_Nodes [noduri]$ și
- (2) un traseu având un număr de noduri asociate mai mic $Less_Nodes [noduri]$.

Considerând premisele anterioare, facem următoarele seturi de afirmații:

Afirmația I

Cerința aplicației în nodul sursă este satisfăcută din punctul de vedere al întârzierii medii de transmisie în condițiile:

- (1) rulării aplicației pe traseul având numărul de noduri asociate cel mai mare și
- (2) întârzierile cele mai mici în cozile de așteptare.

$$[Propagation_Delay \text{ (întârzierea medie de propagare între noduri)} + Higher_Delay \text{ (întârzierea de așteptare în coada cea mai puțin prioritară)}] * More_Nodes \text{ (ruta cu numărul de hopuri cel mai mare)} [ms] < Delay \text{ (întârzierea medie de transmisie minimă solicitată)} [ms]$$

Afirmatia II

Cerința aplicației în nodul sursă este satisfăcută din punctul de vedere al întârzierii medii de transmisie în condițiile:

- (1) rulării aplicației pe traseul având numărul de noduri asociate cel mai mic și
- (2) întârzierile cele mai mici în cozile de așteptare.

$$[\text{Propagation_Delay (întârzierea medie de propagare între noduri)} + \text{Higher_Delay (întârzierea de așteptare în coada cea mai puțin prioritară)}] * \text{Less_Nodes (ruta cu numărul de hopuri cel mai mic)} [\text{ms}] < \text{Delay (întârzierea medie de transmisie minimă solicitată)} [\text{ms}]$$

Afirmatia III

Dacă, cerința aplicației în nodul sursă este satisfăcută din punctul de vedere al întârzierii medii de transmisie în condițiile:

- (1) rulării aplicației pe traseul având numărul de noduri asociate cel mai mic cu
- (2) întârzierile cele mai mari în cozile de așteptare,

$$[\text{Propagation_Delay (întârzierea medie de propagare între noduri)} + \text{Lower_Delay (întârzierea de așteptare în coada cea mai prioritară)}] * \text{Lower_Nodes (ruta cu numărul de hopuri cel mai mic)} [\text{ms}] \ll \text{Delay (întârzierea medie de transmisie minimă solicitată)} [\text{ms}]$$

atunci, traseul cel mai scurt poate fi utilizat și în condițiile alocării unei priorități minime cu satisfacerea cerinței utilizator.

În acord cu afirmațiile făcute, extragem următoarele seturi de concluzii:

Concluzia I

Rețeaua poate satisface cerințele utilizatorului păstrând cerințele inițiale impuse (în termeni de parametri QoS) la o prioritate scăzută în condițiile în care aplicația din nodul sursă a solicitat o prioritate ridicată fără a cunoaște contextul rețelei (sau capacitatea rețelei).

Concluzia II

Alocând ineficient resurse suplimentare prin asocierea unei priorități ridicate, în contextul în care cerințele utilizator (parametri QoS) sunt satisfăcute chiar și la priorități asociate scăzute, numai un management QoS integrat rețelei ar adapta treptat cerințele aplicației la contextul rețelei oferind o gestiune eficientă a resurselor.

Astfel, alocarea unei priorități maxime nu este necesară, cerințele aplicației sursă putând fi satisfăcute și pentru o prioritate minimă (aplicația sursă nu cunoaște contextul rețelei solicitând rezervare de resurse în mod ineficient).

Concluzia III

Există cel puțin un traseu intermediar în rețea astfel încât cerințele utilizator sunt adaptate eficient la contextul rețelei. Acest traseu este caracterizat de relația:

$$[\text{Propagation_Delay (întârzierea medie de propagare între noduri)} + \text{Higher_Delay (întârzierea de așteptare în coada cea mai puțin prioritară)} / \text{Lower_Delay (întârzierea de așteptare în coada mai prioritară)}] * \text{More_Nodes (ruta cu numărul de hopuri cel mai mare)} / \text{Less_Nodes (ruta cu numărul de hopuri cel mai mic)} [\text{ms}] < \text{Delay (întârzierea minimă QoS solicitată)} [\text{ms}]$$

Concluzia IV

În contextul concluziilor anterioare, modelul I-NAME identifică traseul intermediar existent între nodul sursă și nodul destinație prin utilizarea parametrilor QoS ce caracterizează cerințele aplicației și capacitatea rețelei, parametrii incluși în ceea ce am definit ca profile QoS. Mecanismul modelului I-NAME descrie modul de adaptare succesivă a cerințelor aplicației la starea rețelei, cu asigurarea cap-la-cap a parametrilor QoS negociați.

Observații:

1. *Întârzierea medie de transmisie minimă solicitată exprimă acea valoare a întârzierii de transmisie necesară rulării aplicației în condiții optime. Rularea aplicației pe trasee ce oferă întârzieri de transmisie care depășesc această valoare are ca efect degradarea parametrilor de calitate ai aplicației.*
2. *Întârzierea de transmisie minimă solicitată integrează toate întârzierile ce apar pe traseul dintre nodul sursă și nodul destinație (întârzierile de propagare, întârzierile de așteptare în cozi).*

6.3.5 Profilele modelului I-NAME

Modelul I-NAME este proiectat ca o soluție cap-la-cap în vederea unui management autonom al resurselor, adaptând diferite categorii de tehnologii de rețea la diferite solicitări de resurse ale aplicațiilor multimedia.

Scopul modelului I-NAME este acela de a schimba mesaje de management sub forma unor profile QoS (*QoS Profiles*) între nodurile rețelei în vederea furnizării și colectării de informații de la/către orice nod din rețea.

Profilele QoS conțin un set de parametri QoS solicitați de serviciul ce urmează a fi rulat din nodul sursă către nodul destinație. Setul de parametri QoS descriși în cadrul profilelor QoS sunt:

- (1) debitul (*T, Throughput*);
- (2) întârzierile (*D, Delay*);
- (3) jitter-ul (*J, Jitter*).

Modelul I-NAME definește profilele ca și setul de parametri QoS solicitați, acceptați, negociați și adoptați ce rezultă în urma fluxului de mesaje schimbat între nodurile rețelei. Funcție de caracterul specific al fiecărei aplicații în parte, acești parametri pot lua valori specifice.

Profilele QoS schimbate între entitățile arhitecturii (mesajele de management de la nodul sursă către nodul destinație prin intermediul nodurilor intermediare) au rolul de a adapta succesiv:

- (1) setul de parametri QoS solicitați de aplicația rulată în nodul sursă, cu
- (2) capacitățile arhitecturii inter-domeniu, la
- (3) potențialul nodului destinație ce urmează a fi beneficiarul serviciului rulat în rețea.

Adapându-se succesiv pe traseul dintre nodul sursă până la nodul destinație, modelul I-NAME va oferi acces personalizat la resurse din perspectiva utilizatorului și servicii optimizate din perspectiva rețelei/operatorului. Astfel, putem spune că profilele QoS descrise de modelul propus vor determina costul legăturii cap-la-cap în cadrul unei arhitecturi inter-domeniu.

Modelul I-NAME este mai mult decât un mecanism de semnalizare (reacționează în funcție de context oferind soluții particulare pentru fiecare aplicație rulată) și este mai mult decât un mecanism de rutare (determină cel mai bun traseu până la destinație pe baza solicitărilor de resurse ale aplicației).

În vederea implementării, modelul I-NAME propus va fi descris și apoi va fi prezentat specificul său din perspectiva elementelor particulare introduse în simulatorul de rețele QualNet în care a fost integrat, testat și validat.

Cerințele aplicației sunt exprimate prin setul de parametri QoS (1) debit, (2) întârziere, (3) jitter și vor lua valori în funcție de caracterul specific al fiecărei aplicații în parte. În implementarea modelului I-NAME, cerințele aplicației au fost modelate prin alocarea diferitelor ponderi parametrice QoS, elemente ce vor fi prezentate în paragrafele următoare.

6.3.6 Fluxul mesajelor în cadrul modelului I-NAME

Așa cum a fost prezentat, scopul modelului I-NAME este de a oferi prin intermediul profilelor QoS (a setului de parametri QoS) acces personalizat la resurse (din perspectiva utilizatorului) și servicii optimizate (din perspectiva rețelei/operatorului).

Fluxul de mesaje I-NAME se bazează pe interacțiunea și deciziile luate la nivelul nodurilor intermediare din rețea, decizii conforme informației incluse în profilele QoS. Aceste profile QoS transportă capacitățile rețelei, din nod în nod, colectând informații despre disponibilitatea alocării de resurse pe unul din traseele posibile dintre sursă și destinație în acord cu solicitările sursei și potențialul destinației.

În cadrul modelului I-NAME, în funcție de potențialul nodului destinație, există două faze în selectarea traseului optim între sursă și destinație numit profilul QoS al căii:

- (1) Prin profilul QoS acceptat, nodul destinație exprimă disponibilitatea de selectare a unei căi de comunicație cu nodul sursă, indicând posibilitatea rulării serviciului anunțat în profilul QoS solicitat; în felul acesta, mecanismul I-NAME este rulat în doi pași, prin schimbarea profilului QoS solicitat și al profilului QoS acceptat;

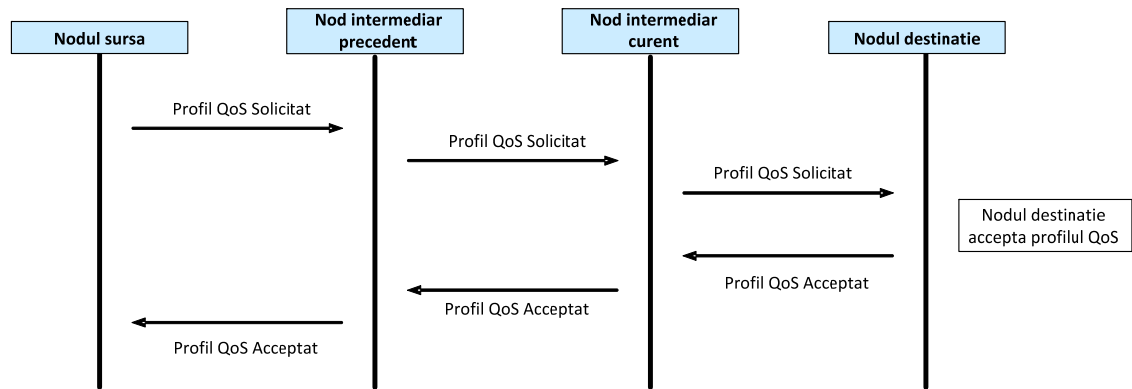


Figura 6.3 Fluxul mesajelor de management al resurselor I-NAME în două faze

(2) Prin profilul QoS negociat, nodul destinație informează nodul sursă cu privire la potențialul său în raport cu solicitările anunțate în profilul QoS solicitat; ca urmare a capacităților reduse la nodul destinație, acesta informează nodul sursă prin transmiterea profilului QoS negociat despre posibilitățile sale; în acest caz, nodul sursă decide selectarea unei căi de comunicație cu nodul destinație potrivit profilului QoS negociat, indicând posibilitatea rulării serviciului anunțat în profilul QoS solicitat prin transmiterea profilului QoS adoptat; în felul acesta, mecanismul I-NAME este rulat în trei pași, prin transmiterea profilului QoS solicitat, a profilului QoS negociat și a profilului QoS adoptat.

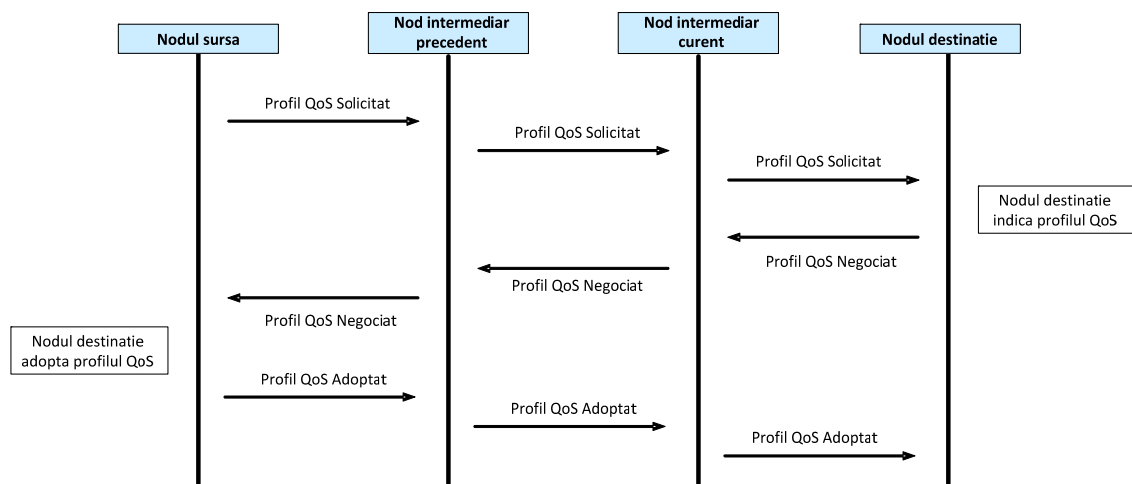


Figura 6.4 Fluxul mesajelor de management al resurselor I-NAME în trei faze

6.4 Implementarea și integrarea modelului I-NAME

6.4.1. Descrierea implementării profilurilor asociate modelului I-NAME

Modelul I-NAME definește patru categorii de profile QoS (necesare estimării costurilor traseului între nodul sursă și nodul destinație) ce au la bază setul de parametri QoS asociați.

Profilul ce descrie costurile traseului, indicând implicit ruta dintre nodul sursă și nodul destinație, a fost definit ca profil QoS al căii (*QoS Path Profile*). Costurile unei căi sunt dictate de constrângerile parametrice impuse de nodul sursă și nodul destinație, constrângeri parametrice pe care le-am denumit ponderi parametrice QoS (*QoS Parametric Weights*). Caracteristicile profilurilor propuse în modelul I-NAME sunt următoarele:

A. Profilul QoS solicitat (*QoS Requested Profile*): Include solicitările inițiale de resurse ale aplicației generate la nodul sursă; nodul sursă anunță destinația cu privire la setul de parametri QoS ce caracterizează serviciul ce urmează a fi rulat prin intermediul profilului QoS solicitat.

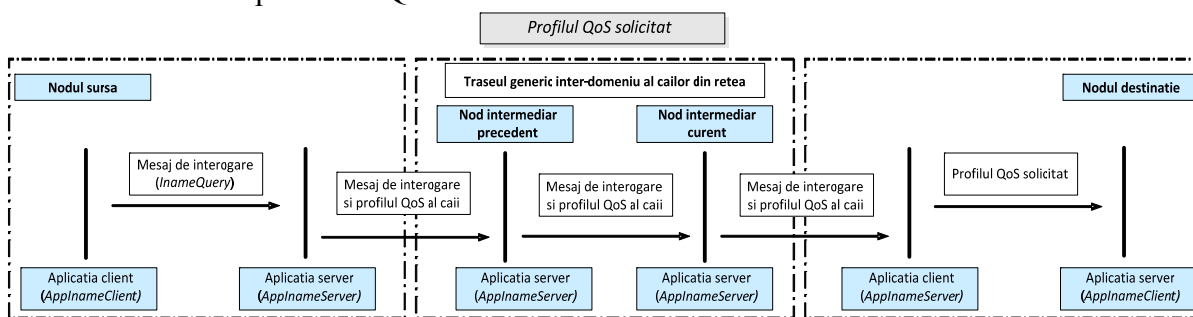


Figura 6.5 Profilul QoS solicitat al modelului I-NAME

Pentru adăugarea unei cereri inițiale de interogare ce include parametri QoS ai serviciului solicitat (vezi Figura 6.6 Arhitectură inter-domeniu ce integrează modelul I-NAME propus și descrierea cererii inițiale de interogare *InameQuery*), nodul sursă transmite prin intermediul aplicației de tip client (vezi descrierea constructorului de aplicație de tip *AppInameClient*) o cerere inițială de interogare către aplicația de tip server (vezi descrierea *AppInameServer*) în formatul inițial al profilului QoS solicitat.

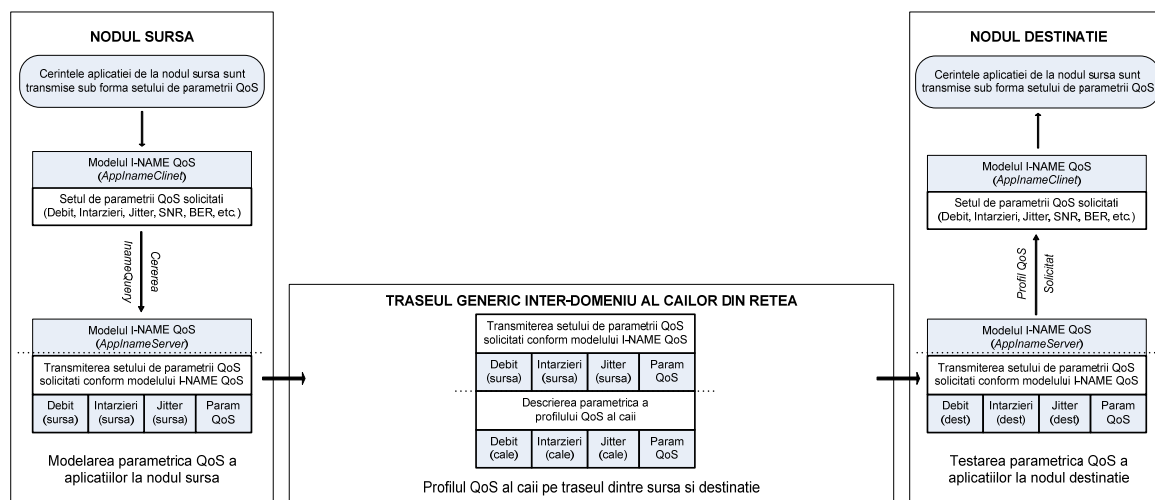


Figura 6.6 Arhitectură inter-domeniu ce integrează modelul I-NAME propus

Profilul QoS solicitat inițial ajunge la nodul destinație în formatul său final incluzând:

- (1) cerințele aplicației, sub forma parametrilor QoS solicitați și
- (2) descrierea parametrică a căii dintre sursă și destinație, sub forma profilului QoS al căii.

În fiecare nod intermediar, pe traseul dintre sursă și destinație, are loc verificarea parametrilor căilor ce sosesc în nodul respectiv în vederea testării condițiilor parametrice impuse de nodul sursă. În felul acesta, putem spune că modelul I-NAME adaptează treptat traseul inter-domeniu cap-la-cap cu cerințele aplicației din nodul sursă.

Corelând componentele din arhitectura inter-domeniu (vezi Figura 6.6) cu cele necesare modelării parametrice a interfețelor unui nod intermediar (vezi Figura 6.7), putem observa cum la nivelul fiecărui nod intermediar regăsim următoarele elemente:

- (1) parametri QoS ai aplicației sursă, utilizați în nodul intermediar pentru identificarea unei căi de transmisie conforme cerințelor aplicației sursă și
- (2) parametri QoS ce descriu interfețele de intrare și de ieșire ale nodului intermediar.

Utilizând algoritmul indicat de modelul I-NAME, în nodul intermediar curent, vom avea determinați parametri QoS ai căii. Ei sunt calculați pornind din nodul sursă până la nodul intermediar precedent. Rolul nodului intermediar curent este acela de a completa la profilul QoS al căii nodului intermediar precedent, setul de parametri QoS cei mai apropiați de cerințele aplicației.

În vederea determinării parametrilor QoS ce caracterizează legăturile între nodurile intermediare (în cazul nostru, posibilele legături multiple dintre nodul curent și nodurile precedente), în simulatorul de rețele QualNet a fost implementat un set de patru mesaje de tip probă (*Probe*) anterioare schimbului de mesaje cu profile QoS (numărul minim al mesajelor de tip probă necesar estimării jitter-ului este de trei mesaje).

Mesajele de tip probă au caracteristici identice cu pachetele transmise de aplicația sursă, fiind necesare estimării întârzierilor și variației întârzierilor (sau jitter-ului), din nod în nod, pentru aplicația ce urmează a fi rulată. Astfel, în fiecare nod, la sosirea profilului QoS solicitat, avem măsurate anterior acestui mesaj valorile întârzierii și ale jitterului în raport cu nodul precedent.

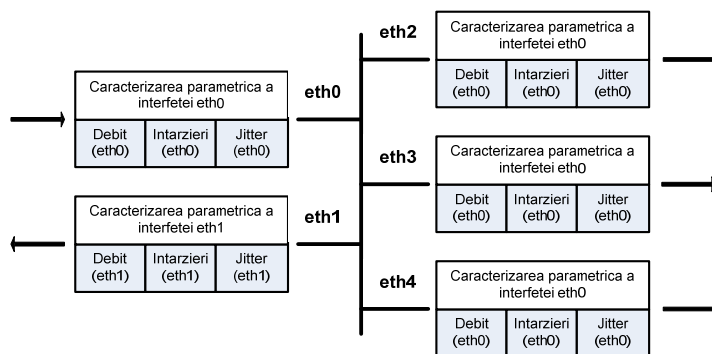


Figura 6.7 Modelarea parametrică a interfețelor unui nod intermediar

Ținând cont (1) de valorile debitului, întârzierilor și a jitter-ului determinate pe baza mesajelor de tip probă în nodul intermediar curent, (2) de profilul QoS al căii din nodul intermediar precedent și (3) de cerințele aplicației din nodul sursă, nodul intermediar curent va determina profilul QoS al nodului intermediar curent și-l va transmite pe fiecare din interfețele de legătură până în nodul destinație.

Pe baza formulei de calcul a costurilor parametrice QoS, nodul intermediar precedent va indica nodului intermediar curent interfața aleasă în acord cu profilul QoS solicitat și transmis din nodul sursă. Formula de calcul a costurilor în vederea selectării profilului QoS al căii pentru una din interfețele nodului intermediar curent este exprimată în Relația 6.1.

$$QoSPathProfileEth_n = (TW \times TEth_n / TS) + DW \times (1 - DEth_n / DS) + JW \times (1 - JEth_n / JS) \quad (6.1)$$

unde,

TW	ponderea debitului
$TEth_n$	debit interfață Eth_n
TS	debit sursă
DW	ponderea întârzierii
$DEth_n$	întârziere interfață Eth_n
DS	întârziere sursă
JW	ponderea jitter-ului
$JEth_n$	jitter interfață Eth_n
JS	jitter sursă

La nivelul nodurilor intermediare va fi determinat un cost al profilului QoS al căii asociat fiecărei interfețe către nodurile intermediare precedente. Suma ponderilor QoS asociate determinării costului profilului QoS al căii ia o valoare cuprinsă între 0 și 1.

În cadrul Relației 6.1 au fost considerate caracteristicile individuale ale parametrilor QoS și totodată s-a urmărit implementarea unei distribuții uniforme a ponderilor parametrice QoS asociate.

Dintre aceste posibile profile QoS ale căilor către nodul intermediar curent, aplicând Relația 6.2 vom indica profilul de cost minim dinspre nodurile intermediare precedente și implicit vom avea determinat profilul QoS al căii pe interfața selectată.

$$QoSPathProfile = \min (QoSPathProfileEth_n) \quad (6.2)$$

unde,

n	numărul de interfețe ale nodului intermediar curent către nodurile intermediare precedente
-----	--

În determinarea costurilor profilului QoS al căii, pe lângă (1) setul de parametri QoS ce descriu caracteristicile aplicației sursă și (2) setul de parametri QoS ce caracterizează capacitatea rețelei, așa după cum am văzut în Relația 6.1 intervin și (3) ponderile parametrice QoS.

Rolul ponderilor parametrice QoS este unul dublu:

- (1) pe de o parte, ponderile parametrice QoS stabilesc prioritățile parametrice QoS la nodul sursă în funcție de tipul aplicației (vezi Tabelul 6.7), iar
- (2) pe de altă parte, ponderile parametrice QoS clasifică și ordonează aplicațiile în nodurile intermediare, ținând cont de prioritățile parametrice QoS impuse la destinație.

Astfel, alegerea unui profil QoS al căii (prin selectarea unei interfețe către nodul intermediar precedent) este în strânsă dependență cu cerințele aplicației și se adaptează treptat la capacitatea rețelei.

În formula utilizată (vezi Relația 6.2) s-a ținut cont de caracteristicile setului de parametri QoS, și anume:

- (1) debitul (T , **Throughput**) – fiind o măsură a capacității de transfer în rețea, are un caracter incluziv pornind de la nodul sursă către nodul destinație;
- (2) întârzierea (D , **Delay**) – fiind o măsură a timpului de transmisie a informației în rețea, are un caracter sumativ pornind de la nodul sursă către nodul destinație;
- (3) jitter-ul (J , **Jitter**) – fiind o măsură a variației timpului de întârziere a informației în rețea, are un caracter sumativ pornind de la nodul sursă către nodul destinație.

Pe traseul de la nodul sursă către nodul destinație este determinată o cale între fiecare două noduri intermediare. Dacă valoarea adresei nodului intermediar curent este aceeași cu cea a nodului destinație, profilul QoS solicitat a ajuns în nodul destinație.

În acest moment, la nodul destinație vom avea următoarele seturi de parametri QoS:

- (1) parametri QoS ai aplicației din nodul sursă;
- (2) profilul QoS al căii determinat de constrângerile rețelei și cerințele aplicației;
- (3) parametri QoS ce descriu capacitatea nodului destinație.

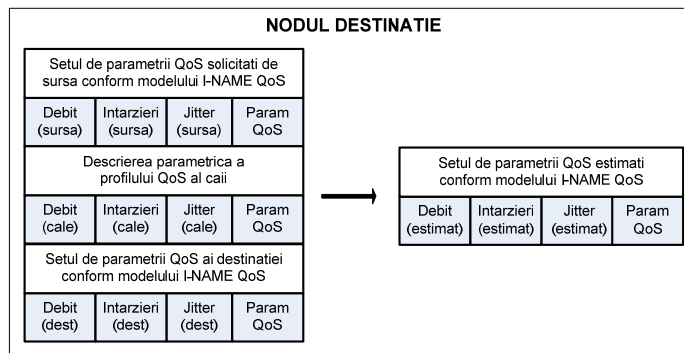


Figura 6.8 Generarea setului de parametri QoS estimați la nodul sursă

Conform imaginii din Figura 6.8, cele trei categorii de seturi parametrice QoS vor genera un set de parametri QoS estimați. Modul de generare al setului de parametri QoS estimați este prezentat în următorul sistem de relații:

$$\begin{cases} T_{\text{estimat}} = \min (T_{\text{sursă}}, T_{\text{profil al căii}}, T_{\text{destinație}}) \\ D_{\text{estimat}} = \max (D_{\text{sursă}}, D_{\text{profil al căii}}, D_{\text{destinație}}) \\ J_{\text{estimat}} = \max (J_{\text{sursă}}, J_{\text{profil al căii}}, J_{\text{destinație}}) \end{cases} \quad (6.3)$$

Sistemul de relații ce stă la baza calculării setului de parametri QoS estimați ține cont de caracteristicile parametrilor QoS considerați (T – debit, D – întârziere, J – jitter) și descriși anterior.

În funcție de testările realizate pe cele trei seturi de parametri QoS indicați în sistemul de Relații 6.3, mecanismul descris de modelul I-NAME va genera:

(1) Profilul QoS acceptat, dacă sunt îndeplinite cerințele din setul de Relații 6.4:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{estimat}} \geq T_{\text{sursă}} \\ \text{și} \\ D_{\text{estimat}} \leq D_{\text{sursă}} \\ \text{și} \\ J_{\text{estimat}} \leq J_{\text{sursă}} \end{array} \right. \quad (6.4)$$

Nodul destinație oferă suport integral parametrilor QoS anunțați în profilul QoS solicitat; atât profilul QoS al căii cât și destinația suportă cerințele sursei. În acest caz, spunem că modelul de management al resurselor I-NAME este unul realizat în doi pași, mecanismul derulându-se conform fluxului mesajelor de management I-NAME în două faze prezentat în Figura 6.3.

(2) Profilul QoS negociat, dacă sunt satisfăcute cerințele din setul de Relații 6.5:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{estimat}} < T_{\text{sursă}} \\ \text{sau} \\ D_{\text{estimat}} > D_{\text{sursă}} \\ \text{sau} \\ J_{\text{estimat}} > J_{\text{sursă}} \end{array} \right. \quad (6.5)$$

Nodul destinație oferă suport parțial parametrilor QoS anunțați în profilul QoS solicitat. În acest caz, spunem că modelul de management și rezervare a resurselor I-NAME este unul realizat în trei pași, mecanismul derulându-se conform fluxului mesajelor de management I-NAME în trei faze prezentat în Figura 6.4.

B. Profilul QoS acceptat (QoS Accepted Profile): Exprimă existența unei căi de comunicație cap-la-cap cu nodul sursă la parametri indicați în profilul QoS solicitat; atât arhitectura inter-domeniu cât și nodul sursă prezintă suport și disponibilitate pentru serviciul solicitat în a fi rulat de la nodul sursă; profilul QoS acceptat este transmis de la nodul destinație către nodul sursă.

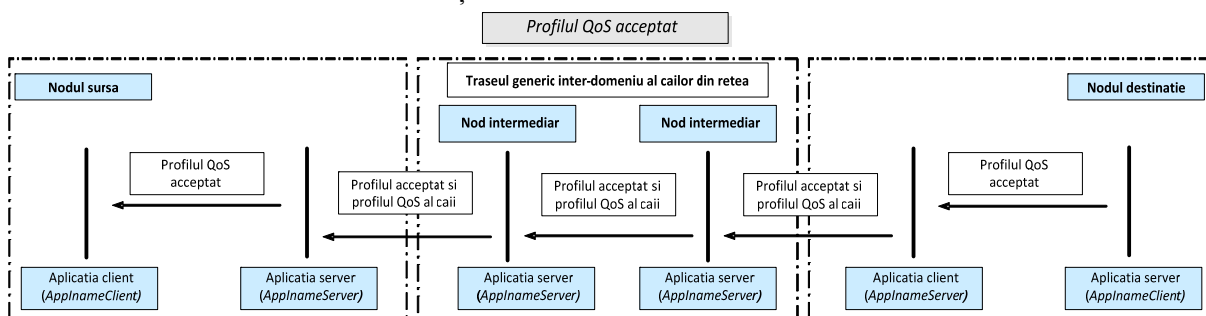


Figura 6.9 Profilul QoS acceptat al modelului I-NAME

La sosirea profilului QoS acceptat la nodul destinație, aplicația va fi rulată peste arhitectura inter-domeniu la parametri solicitați și va urma traseul indicat în profilul QoS al căii.

Mecanismul de rulare al aplicației sursă pe traseul indicat în profilul QoS al căii conform modelului I-NAME, poate fi realizat prin două metode majore:

- (1) I-NAME în conjuncție cu MPLS: interacțiune cu serviciul rulat la nivel de strat intermediar 2-3 prin utilizarea MPLS sau
- (2) I-NAME în conjuncție cu RSVP-TE: interacțiune cu aplicația la nivel de strat 7 prin utilizarea RSVP.

Prin utilizarea profilul QoS al căii și a parametrilor QoS mășurați, modelul I-NAME asistă mecanismul de rutare și de selectare al traseului în conjuncție cu protocolul MPLS, fiind varianta utilizată pentru testarea și validarea rezultatelor.

C. Profilul QoS negociat (QoS Negotiated Profile): Exprimă capabilitățile nodului destinație pentru resursele indicate în profilul QoS solicitat, capabilități parțial disponibile ca urmare a posibilităților limitate la nodul destinație; traseul indicat prin profilul QoS al căii și disponibilitatea parțială a nodului destinație în a oferi suport parametrilor QoS pentru serviciul anunțat de nodul sursă sunt transmise sub formă de profil QoS negociat spre a fi analizate.

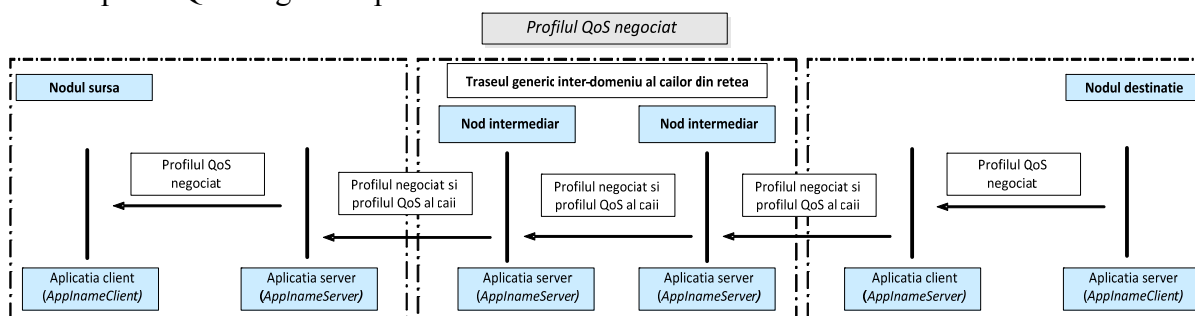


Figura 6.10 Profilul QoS negociat al modelului I-NAME

Profilul QoS negociat va conține setul de parametri QoS estimați, ca set de parametri minimali disponibili în acel moment în rețea. În felul acesta, nodul sursă este solicitat în a-și adapta transmisia fie (1) datorită limitărilor în capacitate a rețelei, fie (2) datorită posibilităților limitate ale destinației.

Profilul QoS adoptat va reflecta capacitatea de adaptare a nodului sursă pe de o parte la (1) condițiile din rețea, iar pe de altă parte la (2) disponibilitatea nodului destinație.

D. Profilul QoS adoptat (QoS Adopted Profile): Exprimă disponibilitatea nodului sursă pentru resursele anunțate de nodul destinație prin intermediul profilului QoS negociat; traseul indicat prin profilul QoS al căii și capacitatea nodului sursă în a oferi suport parametrilor QoS disponibili la nodul destinație sunt transmise prin intermediul profilului QoS adoptat.

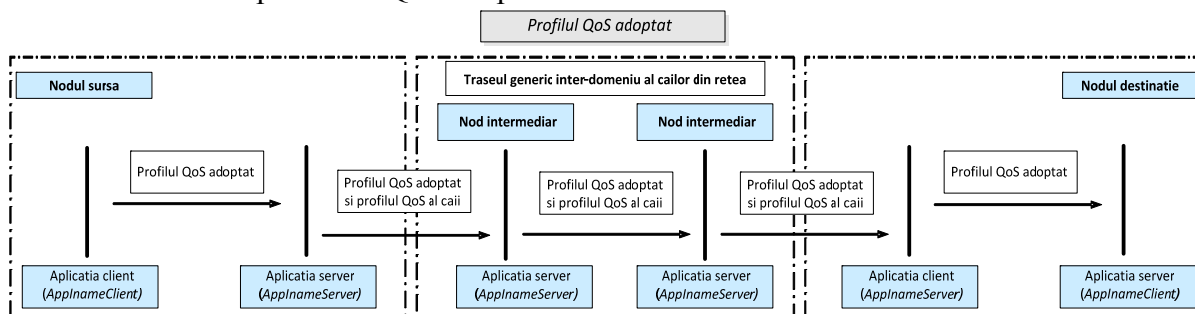


Figura 6.11 Profilul QoS adoptat al modelului I-NAME

Adaptarea parametrilor ce caracterizează aplicația din nodul sursă la parametri QoS estimați și anunțați prin profilul QoS negociat se poate face în două moduri:

- (1) Adaptarea aplicației sursă prin fragmentare;

Dacă,

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{estimat}} < T_{\text{sursă}} \\ \text{și} \\ D_{\text{estimat}} \leq D_{\text{sursă}} \\ \text{și} \\ J_{\text{estimat}} \leq J_{\text{sursă}} \end{array} \right. \quad (6.6)$$

parametrul *<packet size>* din constructorul aplicației de la nodul sursă (vezi Figura 6.10) ia valoarea *<packet size/2>*. În felul acesta, are loc adaptarea capacității de transfer a nodului sursă la capacitatea rețelei.

În practică, fragmentarea este un proces asistat de administratorul de rețea. În funcție de capacitatea rețelei și numărul de noduri asociate în rețea, fragmentarea poate juca un rol determinant în capacitatea rețelei în special în cazul sistemelor radio ce includ pe stratul legături de date o tehnică de acces la mediu cu disputarea resurselor între utilizatori.

Astfel, în cazul unui număr mai mare de utilizatori asociați unui punct de acces, reducerea dimensiunii pachetului coincide cu scăderea probabilității de coliziune între pachetele transmise. Cu toate că înregistrăm o scădere a ratei de transfer în aceste condiții, prin fragmentare prevenim inoperabilitatea sistemului ce încearcă transmiterea unor cadre de dimensiuni mari, susceptibile la coliziuni.

Deși prin fragmentare reducem debitul aplicației în nodul sursă, menținem constant intervalul temporar între pachetele transmise. Asociem această modalitate de adaptare a nodului sursă aplicațiilor sensibile la întârzieri și la variații ale întârzierilor. Adaptarea nodului sursă prin fragmentare menține o variație constantă a întârzierilor.

- (2) Adaptarea debitului aplicației sursă prin modificarea intervalului între pachetele transmise;

Dacă,

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{estimat}} \geq T_{\text{sursă}} \\ \text{și} \\ D_{\text{estimat}} > D_{\text{sursă}} \\ \text{sau} \\ J_{\text{estimat}} > J_{\text{sursă}} \end{array} \right. \quad (6.7)$$

parametrul *<interval>* din constructorul aplicației de la nodul sursă (vezi Figura 6.10) ia valoarea *<interval*2>*. În felul acesta, are loc adaptarea aplicației rulate în nodul sursă prin modificarea intervalului între pachetele transmise.

Ca și în cazul adaptării aplicației din nodul sursă prin fragmentare și în cazul adaptării aplicației prin modificarea intervalului între pachetele transmise are loc adaptarea debitului la nodul sursă în acord cu posibilitățile rețelei și a nodului destinație.

Dacă în cazul adaptării prin fragmentare menținem constant intervalul dintre pachetele transmise, în cazul adaptării prin modificarea distanței dintre pachetele transmise păstrăm constantă dimensiunea pachetului.

În practică, adaptarea debitului aplicației rulate în nodul sursă prin modificarea intervalului între pachetele transmise presupune schimbarea tipului de codor al aplicației, deci implicit o codare adaptivă a sursei. Modificând distanța dintre pachete, realizăm o codare predictivă a sursei, o creștere a nivelului de compresie al aplicației din nodul sursă.

6.4.2. Specificul implementării modelului I-NAME din perspectiva simulatorului de rețele QualNet

Utilizând QualNet, modelul I-NAME propus pentru implementarea calității serviciilor inter-sistem are la bază dezvoltarea a două categorii de aplicații care generează un set specific de mesaje de management QoS al resurselor numite profile QoS (*QoS Profiles*).

Lucrul cu profile QoS a fost gândit în vederea flexibilizării cerințelor utilizatorului la capacitatea rețelei și la potențialul destinatarului. Prin intermediul mesajelor schimbate în rețea între sursă și destinație, cerințele inițiale ale utilizatorului sunt treptat adaptate potențialului rețelei dar și capabilităților destinației.

În felul acesta, atât inițiatorul serviciului (aplicația din nodul sursă) cât și beneficiarul acestuia (aplicația din nodul destinație) se vor anunța asupra cerințelor/posibilităților QoS reciproce, cunoscând în același timp disponibilitatea rețelei în vederea suportului acestor parametri QoS.

Cum modelul I-NAME inter-domeniu rulează peste mecanismele QoS intra-domeniu existente, este propusă clasificarea aplicațiilor la nivel de strat aplicație.

Astfel, funcție de tipul aplicației, parametri QoS ce o caracterizează manifestă sensibilități diferite. În Tabelul 6.7 este prezentată sensibilitatea parametrilor QoS funcție de tipul câtorva categorii de aplicații, utilizând surse implementate în simulatorul QualNet.

În funcție de importanța asociată tipului de aplicație rulată, ponderilor parametrice QoS le vor fi asociate diferite valori în cadrul modelului I-NAME propus.

Categorii de aplicații utilizate (surse utilizate pentru generarea lor în QualNet)			
Parametri QoS	VoIP (sursă CBR)	HTTP (sursă HTTP)	FTP (sursă FTP)
Debit	Importanță moderată	Importanță moderată	Importanță ridicată
Întârzieri	Importanță ridicată	Importanță moderată	Importanță moderată
Jitter	Importanță ridicată	Importanță scăzută	Importanță scăzută

Tabel 6.7 Asigurarea parametrilor QoS funcție de tipul de aplicației

Printr-un profil QoS modelul I-NAME definește un set agregat de parametri QoS ce caracterizează o aplicație dată. Parametrii QoS considerați în acest studiu sunt:

- (1) debitul sau capacitatea minimă de transfer necesară aplicației (*throughput*);
- (2) întârzierea minimă acceptată în vederea rulării aplicației (*delay*);
- (3) variația întârzierilor minimă tolerată de aplicație (*jitter*).

În contextul lucrului cu simulatorul de rețele QualNet, profilul QoS este văzut ca o extensie a descriptorului de aplicație implicit fiind completat de câteva elemente specifice modelului I-NAME propus și anume:

- (1) crearea constructorului de aplicație de tip *AppInameClient* la sursă și la destinație;
- (2) generarea constructorului de aplicație de tip *AppInameServer* la nivelul fiecărui nod din rețea;
- (3) transmiterea solicitărilor *AppInameClient* către *AppInameServer* prin intermediul cererii interne de interogare *InameQuery*.

Sintaxa și interdependența dintre aceste elemente (*AppInameClient*, *AppInameServer*, *InameQuery*) sunt definite în paragrafele următoare.

Extensia I-NAME a descriptorului de aplicație din fișierul general de descriere specific QualNet este redată mai jos.

```
CBR <source node> <destination node> <number of packets> <packet size>
<interval> <start time> <end time>
AppInameClient <source node> <port> <packet size> <throughput> <delay>
<jitter>
AppInameClient <destination node> <port> <packet size> <throughput>
<delay> <jitter>
InameQuery <source node> <source port> <destination node> <destination
port> <start time> <throughput weight> <delay weight> <jitter weight>
```

Sintaxa aplicațiilor de tip CBR (*Constant Bit Rate*) este dată în chenarul următor. Sintaxa tuturor celorlalte surse de trafic (VBR, HTTP, FTP etc.) este descrisă în manualul simulatorului și nu reprezintă elemente de interes în studiile realizate.

```
CBR <source node> <destination node> <number of packets> <packet size>
<interval> <start time> <end time>
```

Sintaxa surselor de trafic de tip CBR este utilizată pentru modelarea unor aplicații ce necesită o rulare în timp real. Semnificația parametrilor pentru sursele de trafic de tip CBR este următoarea:

<source node>	nodul sursă al aplicației
<destination node>	nodul destinație al aplicației
<number of packets>	numărul de pachete de transmis
<interval>	spațierea în timp între pachetele transmise
<packet size>	dimensiunea pachetului de transmis
<start time>	timpul de start al generării pachetelor de către sursa CBR
<end time>	timpul de stop al generării pachetelor de către sursa CBR

În vederea implementării și integrării modelului propus, sunt definite două categorii de aplicații la interfața dintre serviciile rulate și suportul oferit de rețea, având ca rezultat generarea profilelor QoS ce sunt ulterior analizate, prelucrate și transmise în rețea conform mecanismului definit de modelul I-NAME.

De menționat este faptul că toate fazele mecanismului de management I-NAME sunt preliminare transmiterii informației utile din cadrul serviciului solicitat. Cele două categorii de aplicații definite în cadrul modelului de control și management I-NAME sunt:

- (1) aplicații de tip client, *AppInameClient*;
- (2) aplicații de tip server, *AppInameServer*.

Aplicațiile de tip client *AppInameClient* sunt definite în fișierul de configurare al aplicațiilor (*.app), fiind apoi apelate prin intermediul fișierului de configurare al simulatorului în vederea rulării simulării (*.config).

Aplicațiile de tip *AppInameClient* sunt corelate tipurilor de aplicații definite în același fișier de configurare (*.app). Tipurile de aplicații definite în simulatorul de rețele QualNet, ca și surse de generare a traficului, sunt următoarele: CBR, FTP, FTP/GENERIC, TELNET, HTTP.

Sintaxa constructorului unei aplicații de tip *AppInameClient*, definită în fișierul de configurare al aplicației (*.app), este redată după cum urmează:

```
AppInameClient <source node> <port> <packet size> <throughput> <delay>
<jitter>
```

Aplicațiile de tip client *AppInameClient* au caracteristici similare categoriilor de aplicații definite în fișierul de configurare al aplicațiilor (*.app):

- (1) definesc un serviciu rulat în rețea;
- (2) sunt atașate oricărui nod din rețea;
- (3) unui nod din rețea îi poate fi atașat un număr nelimitat de aplicații.

Prin intermediul constructorului de tip *AppInameClient*, la nivelul fiecărui nod se instanțiază aplicația ce modelează serviciul care urmează a fi rulat.

Astfel, putem spune că aplicația *AppInameClient* preia parametri inițiali ai serviciului ce urmează a fi luat și îi completează cu setul de parametri QoS ce o caracterizează. În acest fel putem înțelege și motivația generării aplicației *AppInameClient*:

- (1) de a prelua parametri inițiali ce descriu aplicația;
- (2) de a adăuga parametri QoS la cerințele aplicației.

Parametri constructorului aplicație de tip *AppInameClient* identifică în mod unic o aplicație. Semnificația parametrilor este următoarea:

<node>	nodul la care aplicația este atașată; în vederea stabilirii unei sesiuni cap-la-cap, prin intermediul modelului I-NAME, aplicația <i>AppInameClient</i> trebuie modelată atât la nivelul nodului sursă cât și la nivelul nodului destinație
<port>	portul pe care este rulată aplicația atașată nodului; simulatorul permite alocarea unor valori cuprinse între 101 și 1024; parametrul permite setarea unui număr multiplu de aplicații la nivelul aceluiași nod
<packet size>	dimensiunea pachetului la nivel aplicație, exprimată în octeți; în cazul mesajelor inițiale de tip "Probe" (mesaje de testare definite în cadrul modelului I-NAME dezvoltat) dimensiunea acestora este aceeași cu dimensiunea pachetelor fragmentate la nivel de aplicație
<throughput>	valoarea minimă a capacității de transfer necesară aplicației, exprimată în biți per secundă
<delay>	valoarea minimă a întârzierii tolerate de aplicație, exprimată în secunde
<jitter>	valoarea minimă a variației întârzierilor tolerate de aplicație, exprimată în secunde

La inițializarea scenariului, prin rularea fișierului de configurare (*.config), în toate nodurile arhitecturii (nu doar nodurile care rulează aplicațiile de tip *AppInameClient*) se instanțiază în mod automat câte o aplicație de tip server *AppInameServer*.

AppInameClient mapează cerințele aplicației într-un profil QoS (set agregat de parametri QoS) și le transmite către *AppInameServer* prin intermediul mesajului de interogare inițial *InameQuery*. Rolul aplicației *AppInameServer* este de a prelua, analiza și transmite în rețea profilele QoS către nodul destinație, în acord cu solicitările aplicației *AppInameClient* generate la nodul sursă.

Aplicația server *AppInameServer* are roluri multiple în funcție de nodul în care este locată în raport cu nodul sursă și nodul destinație:

- (1) în nodul sursă preia cerințele aplicației transmise prin intermediul mesajului inițial de interogare *InameQuery* și transmite în rețea setul de parametri QoS solicitați;
- (2) în nodurile intermediare analizează, determină și transmite din nod în nod capabilitățile rețelei în funcție de solicitările inițiale ale aplicației exprimate prin setul de parametri QoS;
- (3) în nodul destinație determină traseul dintre sursă și destinație descris de setul de parametri QoS cel mai apropiat de cerințele sursei, potențialul rețelei și capabilitățile destinației;
- (4) comunică aplicațiilor din nodul sursă și nodul destinație, prin intermediul profilelor QoS, traseul QoS inter-domeniu al serviciului solicitat ce respectă cerințele QoS negociate și impuse prin modelul I-NAME.

Sintaxa mesajului de transmitere a solicitărilor *AppInameClient* către *AppInameServer* prin intermediul cererii de interogare *InameQuery* este prezentată mai jos.

<i>InameQuery</i> <source node> <source port> <destination node> <destination port> <start time> <throughput weight> <delay weight> <jitter weight>

Funcție de tipul aplicației, conform Tabelului 6.7, există diferite cerințe QoS care trebuie satisfăcute prin prioritizarea parametrilor QoS.

Astfel, prin valorile ponderilor alocate parametrilor QoS (sau ponderi parametrice QoS) ce însoțesc cererea inițială de interogare *InameQuery*, putem modela diferitele cerințe QoS specifice tipului de aplicație rulat.

Totodată, ponderile parametrice QoS ajută în clasificările ulterioare din nodurile arhitecturii, conferind un suport pentru ordonarea priorităților la nivelul tuturor nodurilor prin intermediul aplicației *AppInameServer*.

6.4.3. Motivația lucrului cu simulatorul de rețele *QualNet*

Dezvoltarea, implementarea, testarea și validarea modelului de implementare QoS inter-sistem propus I-NAME, a fost realizată utilizând simulatorul de rețele *QualNet Developer* [[qualnet-web](#)].

Există o serie de motive care au stat la baza alegerii acestui simulator și implicit la dezvoltarea aplicației propuse:

- (1) Capabilitățile simulatorului privind varietatea tehnologiilor de telecomunicații încorporate

Simulatorul se constituie ca unul din cele mai puternice unelte de testare a rețelelor de telecomunicații, oferind utilizatorului posibilitatea de creare a unor arhitecturi ce integrează ultimile tehnologii de rețea (rețele radio și rețele cablate, tehnologii celulare și satelitare, sisteme mobile și ad-hoc).

Datorită unui nucleu extrem de eficient, simulatorul QualNet poate modela rețele hibride de dimensiuni extinse, pentru o varietate largă de categorii de aplicații și utilizatori, operând în condiții de trafic și mobilitate ridicată.

(2) Capabilitățile simulatorului privind posibilitățile de extindere prin dezvoltarea unor noi modele

Interfața de programare și accesul la funcțiile simulatorului oferă utilizatorului posibilitatea de extindere a codului sursă prin dezvoltarea, integrarea, rularea și testarea modelelor de protocol propuse.

Accesul la modelele sursă ale simulatorului permit extinderea codului sursă prin utilizarea mediului de programare C++. Modificarea codului sursă sau adăugarea unor noi modele necesită recompilarea fișierului de executabil principal, specific platformei pe care a fost instalat simulatorul (Windows, Linux, Solaris sau Mac OS).

(3) Setul de unelte ce însoțesc simulatorul

QualNet Scenario Designer este unealtă ce ușurează proiectarea scenariului de analiză, având control asupra distribuției geografice a echipamentelor, a conexiunilor fizice dintre elementele de rețea și asupra parametrilor funcționali ai nodurilor. Toate aceste elemente sunt configurabile și în mod text, la nivelul fișierelor de configurare ale simulării.

QualNet Animator permite vizualizarea fluxului informațional în rețea și crearea unor grafuri dinamice ale topologiei rețelei. *QualNet Packet Tracer* oferă posibilitatea unei analize la nivel de pachet, în vederea evaluării conținutului pachetelor pe măsură ce traversează stiva de protocol.

QualNet Analyzer este un instrument de analiză statistică a rezultatelor experimentale obținute.

(4) Arhitectura simulatorului bazată pe dezvoltarea de modele de protocol

QualNet implementează o arhitectură stratificată, similară stivei de protocol TCP/IP. În cadrul acestei arhitecturi, informația se deplasează între straturi adiacente, de la strat aplicație, prin strat transport, rețea, legături de date și apoi la nivel de strat fizic. Fiecare nod rulează stiva de protocol conform modelului TCP/IP, iar fiecare strat asigură servicii stratului superior prin utilizarea serviciilor furnizate de stratul inferior lui.

(5) Licența simulatorului

Avantajul major al utilizării și rulării unor scenarii utilizând un simulator cu licență, comparativ cu un simulator ale cărui surse sunt disponibile în mod gratuit (*open sources*), constă în câteva aspecte: (a) capacitatea de integrare a unei categorii largi de sisteme de telecomunicații integrate într-o versiune unică, (b) documentarea modului de extindere și integrarea unificată a modulelor dezvoltate ulterior, (c) aprecierea unei largi comunități academice și de cercetare ce îl utilizează și (d) încrederea conferită.

6.4.4. Modul de lucru cu fișierele simulatorului de rețele QualNet

În general, un studiu realizat prin simulare implică trei faze majore:

- (1) crearea și pregătirea scenariilor de simulare pe baza descrierilor și a metricilor de interes;
- (2) rularea scenariilor create și colectarea rezultatelor simulărilor;
- (3) analiza rezultatelor și ajustarea scenariilor inițiale pe baza observațiilor făcute în primele două faze ale studiului.

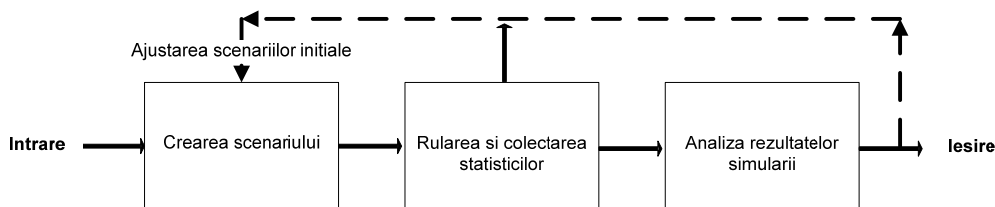


Figura 6.12 Fazele majore ale unui studiu utilizând simulatorul de rețele QualNet

Realizarea unui scenariu poate fi împărțită în mai mulți pași. Pașii cheie în crearea unui scenariu de simulare în QualNet sunt prezentați în Figura 6.12.

Accepțiunea generală este că la început sunt configurați parametrii generali care sunt aplicați întregului scenariu, apoi este specificată topologia rețelei prin crearea sub-rețelelor, plasarea nodurilor și configurarea stivei de protocoale utilizate. Ultimul pas în faza de realizare a scenariilor îl reprezintă configurarea parametrilor specifici și specificarea parametrilor de colectare a rezultatelor simulării.

6.4.5. Fișierele asociate unui scenariu

Intrarea fișierului de simulare în QualNet presupune existența câtorva fișiere distincte. Pentru interfața în linie de comandă, aceste fișiere sunt reprezentate în mod text. Fișierele de intrare de bază în linia de comandă sunt:

- (1) fișierul de configurare al scenariului: specifică scenariul rețelei și parametrii de simulare; acest fișier are extensia “.config”;
- (2) fișierul de plasare a nodurilor: specifică poziția inițială a nodurilor în cadrul scenariului (poate indica și pozițiile viitoare ale nodurilor în cazul unui scenariu mobil); extensia acestui fișier este “.nodes”;
- (3) fișierul de configurare al aplicațiilor: specifică tipul și parametrii aplicațiilor rulate între nodurile din scenariu; acest fișier are extensia “.app”.

În urma rulării scenariului, simulatorul QualNet generează câteva categorii de fișiere de ieșire cum ar fi:

- (1) fișierul de ieșire generat în urma simulărilor: conține statisticile scenariilor rulate; acest fișier are extensia “.stat”;
- (2) fișierul traseelor: conține traseele pachetelor transmise în rețea; extensia acestui fișier este “.trace”;
- (3) fișierul de animație: conține animația traseelor din scenariul rulat; extensia acestui fișier este “.anim”.

Cum integrarea modului I-NAME și apoi rularea scenariilor implică lucrul cu simulatorul de rețele QualNet, următoarele paragrafe urmăresc descrierea modului de extindere a codului sursă al simulatorului și configurarea fișierelor de intrare caracteristice scenariilor de interes. În partea de analiză vor fi prezentate și fișierele conținând statistica rezultatelor obținute.

6.4.6. Integrarea modului I-NAME în simulatorul de rețele QualNet Developer 4.5

Fiecare model integrat sau dezvoltat, pentru a fi integrat în simulator operează la unul din straturile stivei de protocol. Apariția unui eveniment corespunde unei tranziții asociate mașinii cu stări finite.

Interfața dintre straturi este de asemenea un eveniment asociat unei stări a simulatorului. Astfel, fiecare model poate genera evenimente ce-i pot modifica propria stare, fie poate crea noi evenimente ce sunt procesate de un alt protocol. Pentru a transmite sau recepționa servicii de la un strat adiacent, un model trebuie să genereze un eveniment pentru acel strat.

În Figura 6.13 este reprezentată mașina cu stări finite a unui model dezvoltat în QualNet Developer 4.5. Elementul central al modelului îl reprezintă “coordonatorul de evenimente” (*Event Dispatcher*) alcătuit din starea de “așteptare a unui eveniment” (*Wait For Event*) și unul sau mai multe stări de “gestionare a unui eveniment” (*Event Handler*). Starea de “gestionare a unui eveniment” poate reprezenta luarea unei decizii prin continuarea fazelor unei acțiuni în curs, fie planificarea unor noi evenimente.

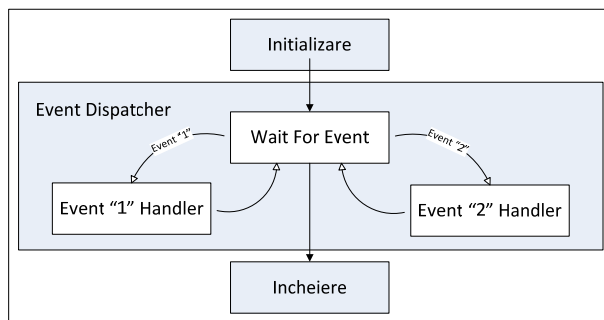


Figura 6.13 Mașina cu stări finite pentru un model dezvoltat în QualNet

În faza de inițializare, mașina cu stări finite citește intrările externe în vederea configurării stării sale inițiale, iar în starea de încheiere sunt afișate rezultatele colectate în timpul simulării.

6.4.7. Descrierea aplicației patch ce implementează modelul I-NAME

Urmând procedura de integrare a modelului I-NAME în simulatorul de rețele QualNet, a fost dezvoltată aplicația patch (*“.patch”*) I-NAME.

Un patch este o aplicație/program software al cărui scop este acela de a actualiza, remedia, adăuga informații sau funcționalități ale programului software original, fără a afecta în mod radical funcționalitățile acestuia.

În cazul aplicației I-NAME, acest patch adaugă simulatorului QualNet capacități de management distribuit al resurselor în cadrul unor arhitecturi de rețea hibride de tip multi-domeniu.

Aplicarea fișierului patch I-NAME pentru simulatorul QualNet se realizează apelând următoarea comandă:

```
emanuel@emanuel:~/ cd /home/emanuel/Qualnet/4.5-INAME
emanuel@emanuel:~/ patch -p1 < ../4.5-INAME.patch
```

Aplicarea aplicației `path 4.5-INAME.patch` aduce modificări unui set de fișiere interne simulatorului și totodată adaugă fișierele sursă `AppInameClient` și `AppInameServer`, fișiere ce descriu modelul propus I-NAME.

Fișierele modificate cât și fișierele sursă adăugate de aplicația patch sunt prezentate în Anexa 6.1. După actualizarea fișierelor interne și integrarea fișierelor specifice modelului I-NAME la nivelul aplicațiilor simulatorului, aplicația patch este adăugată. Urmează recompilarea simulatorului QualNet folosind comanda:

```
emanuel@emanuel:~/ cd QUALNET_HOME/main
emanuel@emanuel:~/ make
```

După recompilarea simulatorului, executabilul `qualnet` va conține și aplicațiile `AppInameClient` și `AppInameServer`.

Executabilul se găsește în directorul `QUALNET_HOME/bin/qualnet`, iar fișierele aplicație `app_iname.*` specifice I-NAME se găsesc în directorul `QUALNET_HOME/addons/iname/src/` și includ sursa aplicațiilor `AppInameClient` și `AppInameServer`.

Varianta extinsă a fișierului patch `4.5-INAME.patch` dezvoltat pentru simulatorul QualNet Developer 4.5 este inclusă în Anexa 6.2.

În continuare vor fi indicate câteva module specifice modelului I-NAME incluse în fișierul patch `4.5-INAME.patch`:

- (1) Structura unui profil QoS solicitat (*QoS Requested Profile*) pe traseul dintre nodul sursă (SN) și nodul destinație (DN) la care se atașează profilul QoS al căii (*QoS Path Profile*) reactualizat la nivelul fiecărui nod curent;

```
// Profilul QoS solicitat
typedef
struct struct app iname request
{
    NodeAddress      sourceAddr;
    NodeAddress      destAddr;
    short            sourcePort;
    short            destPort;
    clocktype        txTime;
    clocktype        probesInterval;
    int              itemSize;
    WeightedParameters wParam;
    Parameters        param;
    char             type;
}
AppInameRequest;

typedef
struct struct app iname path profile
{
    Parameters        param;
    short             nrHops;
    short             nrProbes;
    short             SetIndicator;
    clocktype         txTime;
}
AppInamePathProfile;
```

(2) Structura unui profil QoS răspuns de tip acceptat, negociat sau adoptat (*QoS Accepted Profile*, *QoS Negotiated Profile* sau *QoS Adopted Profile*) la un profil QoS solicitat; indică traseul între sursă și destinație;

```
// Profilul QoS acceptat, negociat sau adoptat
typedef
struct struct app iname request
{
    NodeAddress      sourceAddr;
    NodeAddress      destAddr;
    short            sourcePort;
    short            destPort;
    clocktype        txTime;
    clocktype        probesInterval;
    int              itemSize;
    WeightedParameters wParam;
    Parameters        param;
    char             type;
}
AppInameRequest;

typedef
struct struct app iname answer
{
    Parameters param;
    char type;
    short nrHops;
    short currentNrHop;
    unsigned int outLabel;
    NodeAddress completePathAddr[MAX NR HOPS + 1];
}
AppInameAnswer;
```

Observații:

1. Structura generică a profilelor QoS transmise în rețea este identică la nivel de antet. Atât mesajul de solicitare de resurse (profilul QoS solicitat) cât și mesajele răspuns (profilul QoS acceptat, negociat sau adoptat) include în antetul mesajului setul de parametri QoS.
2. Profilul QoS solicitat atașează antetului descrierea parametrică a traseului optim între sursă și destinație (sau profilul QoS al căii).
3. Profilele QoS acceptat, negociat sau adoptat se constituie ca mesaje răspuns în două sau trei faze ale profilului QoS solicitat (vezi descrierea fluxului mesajelor în cadrul modelului I-NAME prezentată în Figura 6.3 și Figura 6.4). În cazul acestei categorii de mesaje, antetului ce include descrierea parametrilor QoS îi este atașat traseul până la nodul destinație.
4. Se poate observa faptul că selectarea profilului QoS al căii este realizată prin intermediul profilului QoS solicitat. Profilele QoS acceptat, negociat sau adoptat doar indică descrierea profilului QoS al căii selectate anterior și anunță sau adaptează parametrii aplicației sursă.

(3) Structura aplicației *AppInameClient*

```
// Structura aplicatiei AppInameClient
typedef
struct struct_app_iname_client
{
    NodeAddress localAddr;
    AppInameQuery *query;
    Parameters param;
    int itemSize;
    short sourcePort;
    short cbrPort;
    char *type;
    short nrPacketsReceived;
    short nrPacketsSent;
}
AppInameClient;
```

(4) Structura aplicației *AppInameServer*

```
// Structura aplicatiei AppInameServer
typedef
struct struct_app_iname_server
{
    AppInameRequestList *requestList;
    int nrPacketsReceived;
    int nrPacketsSent;
    short sourcePort;
}
AppInameServer;
```

(5) Structura mesajului *InameQuery*

```
// Structura aplicatiei InameQuery
typedef
struct struct_app_iname_client_query
{
    NodeAddress destAddr;
    short destPort;
    clocktype startTime;
    clocktype answerTime;
    WeightedParameters wParam;
    AppInameAnswer *answer;
    struct struct_app_iname_client_query *nextQuery;
}AppInameQuery;
```

(6) Setul de parametri QoS incluși în alcătuirea profilelor;

```
// Parametrii inclusi intr-un profil QoS
typedef
struct struct_app_parameters
{
    Int32 bandwidth;
    clocktype delay;
    clocktype jitter;
}
Parameters;
```

(7) Ponderile parametrice QoS utilizate în alocarea priorităților;

```
// Ponderile asociate parametrilor QoS
typedef
struct struct_app_weighted_parameters
{
    float bandwidth;
    float delay;
    float jitter;
}
WeightedParameters;
```

(8) Lista tuturor profilelor sosite la nivelul interfeței unui nod intermediar (vezi modelarea parametrică a interfețelor unui nod intermediar prezentată în Figura 6.7); *AppInameServer* identifică cererea având descrierea celui mai bun profil al căii între nodul intermediar curent și nodul intermediar precedent cel mai bun.

```
// Lista tuturor profilelor la nivelul unui nod intermediar
struct struct_app_iname_request_list
{
    AppInameRequest request;
    AppInamePathProfileList *bestPathProfile;
    AppInamePathProfileList *pathProfileList;
    int outInterface;
    NodeAddress nextHopAddress;
    int nrProfilesToResend;
    clocktype sendToClientTime;
    int nrRetransmittedRequest;
    AppInameInterfaceStatus *intStat;
    AppInameAnswer *answer;
    int nrResendedAnswer;
    Clocktype resendAnswerTime;
    struct app_iname_request_list *nextRequest;
}
AppInameRequestList;
```

(9) Identificarea numărului de probe transmise/recepționate la nivelul interfețelor din nodurile intermediare;

```
// Identificarea numarului de probe la nivelul unei interfete
typedef
struct struct_app_iname_interface_status
{
    int interfaceIndex;
    int nrProbesReceived;
    int nrProbesSent;
    short SetIndicator;
}
AppInameInterfaceStatus;
```

(10) Mecanismul de control al numărului de probe transmise pentru definirea unui profil (este necesară transmiterea unui număr minim de trei probe pentru calcularea variației întârzierilor la nodul de recepție);

```
// Mecanismul de control al numărului de probe transmise pentru definirea
unui profil
typedef
struct struct_app_iname_set_list
```

```
{
    clocktype txTime;
    clocktype rxTime;
    short nrProbes;
    short nrProbesRecvd;
    short SetIndicator;
    struct app_iname set list *nextSet;
}
AppInameProbesSetList;
```

(11) Modulul de adaptare al parametrilor aplicației sursă.

```
// Modificarea dimensiunii pachetului
if (cbrClient)
{
    cbrClient->itemSize /= 2;
}

// Modificarea intervalului dintre pachete
if (cbrClient)
{
    TIME PrintClockInSecond(cbrClient->interval, clockStr);
    cbrClient->interval = cbrClient->interval * 2;
    TIME PrintClockInSecond(cbrClient->interval, clockStr);
}
```

6.5 Configurarea parametrică a scenariilor de simulare

6.5.1. Descrierea scenariilor de simulare pentru testarea și evaluarea modelului I-NAME

În utilizarea simulatorului de rețele QualNet, o topologie specifică de rețea este denumită ca scenariu. Prin intermediul unui scenariu utilizatorul specifică mediului de simulare toate componentele rețelei și condițiile de funcționare ale acestora.

Pentru a demonstra și totodată pentru a valida capacitatea modelului I-NAME de a gestiona resursele rețelei, prin intermediul simulatorului QualNet am modelat un scenariu ce integrează o arhitectură multi-domeniu.

Privind din perspectiva modelului de referință ISO/OSI, scenariile analizate prin intermediul simulatorului de rețele QualNet permit o modelare parametrică de la nivel de strat fizic (*physical layer*) până la nivel de strat aplicație (*network layer*).

La nivelul scenariului analizat am modelat efectele propagării undelor electromagnetice pe canalul de comunicație, caracteristicile și parametrii antenelor, frecvențele de operare ale sistemelor, pierderile pe traseul de propagare, efectul de fading și efectul de umbră, elementele de configurare ale rețelelor radio și cablate, efectul varietății standardelor implementate la nivel de protocol și sistem, efectele parametrilor ce descriu aplicațiile rulate în rețea.

Fiecare parametru de configurare a scenariului are un impact major în analiza performanțelor arhitecturii multi-domeniu și este în mod implicit definitoriu în gestionarea resurselor rețelei pentru o abordare distribuită.

Paragrafele următoare includ descrierea generală și particulară a setărilor pentru parametri configurați.

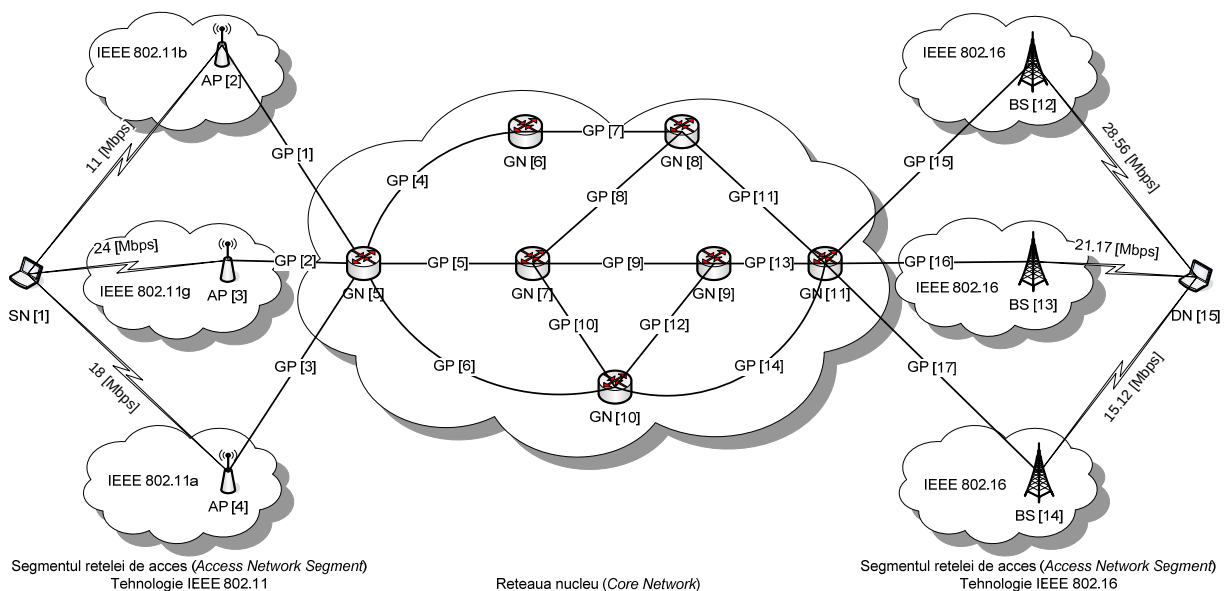


Figura 6.14 Scenariul de test pentru simularea modelului I-NAME

Așa după cum sunt prezentate în Figura 6.14, scenariile de simulare pentru testarea și validarea modelului I-NAME integrează tehnologii wireless și cablate. Scenariul multi-domeniu include două segmente de acces radio (în tehnologie IEEE 802.11 și IEEE 802.16) interconectare printr-o rețea nucleu (în tehnologie Ethernet).

În cadrul subrețelelor de acces radio am integrat (1) diferite modele de implementare ale tehnologiilor pentru rețele wireless locale (IEEE 802.11 a/b/g) și (2) diferite modele de implementare ale caracteristicilor unor rețele radio metropolitane (IEEE 802.16). Toate aceste tehnologii wireless operează în benzi de frecvență specifice, frecvențe de lucru ce vor fi indicate în paragrafele următoare.

Pentru Figura 6.14 am folosit următoarele notații: nodul sursă (*SN*, *Source Node*), nodul destinație (*DN*, *Destination Node*), traseu generic (*GP*, *Generic Path*), nod generic (*GN*, *Generic Node*), punct de acces (*AP*, *Access Point*), stație de bază (*BS*, *Base Station*).

Fiecare componentă arhitecturală este identificată printr-un număr inserat între parantezele drepte și denumit identificator al nodului [nod ID].

6.5.2. Setările parametrilor globali de configurare ai rețelei

Paragraful descrie setările parametrice ale canalelor radio, modelele de propagare utilizate, constanta medie de umbrire asociată modelului de umbrire și aplicată scenariului de studiu, frecvențele de operare ale tehnologiilor utilizate, parametrii de antenă, pierderile asociate pe traseul de propagare, sensibilitatea antenei de recepție.

Parametrii de configurare ai modelelor de canal și valorile caracteristicilor asociate lor sunt prezentate în Tabelul 6.8.

Parametrii globali de configurare ai simulatorului					
Tehnologia radio	Frecvența [GHz]	Sensibilitatea receptorului [dBm]	Modelul de propagare	Modelul de umbrire	Constanta modelului de umbrire
IEEE 802.11a	5	-111	Two-Ray	Constant	4.0
IEEE 802.11b	2.4	-111	Two-Ray	Constant	4.0
IEEE 802.11g	2.4	-111	Two-Ray	Constant	4.0
IEEE 802.16	2.5	-111	Two-Ray	Constant	4.0
IEEE 802.16	2.5	-111	Two-Ray	Constant	4.0
IEEE 802.16	2.5	-111	Two-Ray	Constant	4.0

Tabelul 6.8 Parametrii de configurare ai modelelor de canal și valorile asociate

La definirea stratului fizic radio este necesară specificarea tehnologiei wireless folosite. Tehnologia radio integrează specificații ale standardelor pentru fiecare din modelele selectate și caracterizează comportamentul transmițătorului și al receptorului pe fiecare din interfețele utilizate.

Pentru fiecare din modelele radio asociate la nodul sursă este definit un model de recepție corespunzător la nodul destinație. Sensibilitatea (sau sensibilitatea) receptorului este definită în cadrul modelului de propagare cu două raze (*Two-Ray propagation model*) și indică nivelul minim al semnalului recepționat la receptor. Interferența co-canal și distribuția purtătoarelor vizând elementele de co-locare este rezolvată utilizând măștile de canal (*channel masks*) asociate descrierii modelului de canal.

La nivelul stratului fizic, pentru modelarea rețelelor wireless este necesară de asemenea definirea și configurarea modelelor de antenă și pierderile asociate lor. Modelul de antenă descrie caracteristicile electromagnetice ale elementului radiant utilizat.

Principalele caracteristici modelate sunt câștigurile antenelor de la transmisie și de la recepție asigurate în timpul transmisiilor și eficiența sau pierderile datorate variațiilor unor factori mecanici sau electrici.

În scenariile analizate am utilizat antene omni-directive. Diagramele de radiație ce însoțesc acest tip de antenă prezintă asigurarea unui câștig uniform distribuit independent de direcția pe care se propagă semnalul. Valorile parametrilor de antenă sunt prezentate în Tabelul 6.9.

Caracteristicile de antenă modelate și valorile asociate	
Diagrama de radiație a antenei	Omni-directivă
Înălțimea antenei	1.5 m
Pierderile de dezadaptare ale antenei	0.3 dB
Eficiența antenei	0.8
Pierderile pe cabluri	0 dB
Pierderile de conexiune	0.2 dB

Tabelul 6.9 Descrierea parametrilor de antenă utilizați

6.5.3. Setările parametrilor specifici de configurare ai rețelei

Asociat setărilor de configurare a parametrilor globali, simulatorul de rețete QualNet permite realizarea unor setări specifice, apropiate de scenariul pe care utilizatorul dorește să îl dezvolte.

Cum performanțele modelului de management integrat al resurselor I-NAME sunt testate într-un scenariu de rețea complex, paragraful prezintă setările parametrilor de configurare specifici fiecărui segment al rețelei.

În cadrul scenariului de analiză pentru modelul I-NAME propus am rulat o aplicație critică în timp de la nodul sursă (*SN*, *Source Node*) până la nodul destinație (*DN*, *Destination Node*).

Aplicația critică în timp a fost modelată prin intermediul unei surse de generare a unui trafic cu rată de bit constantă (*CBR*, *Constant Bit Rate*). Fluxul informațional rulat din rețeaua de acces la care este asociat nodul sursă până în rețeaua de acces la care este atașat nodul destinație este rutat prin rețeaua nucleu.

Nodul sursă (*SN*) este asociat segmentului de acces în tehnologie IEEE 802.11, iar nodul destinație (*DN*) este atașat segmentului de acces în tehnologie IEEE 802.16. Atât nodul sursă cât și nodul destinație au abilitatea (sau capacitatea) de a descoperi tehnologiile multiple existente în fiecare segment al rețelelor de acces.

Tabelul 6.10 prezintă parametri de configurare specifici fiecărei tehnologii a segmentului din rețeaua de acces IEEE 802.11.

Segmentul de acces în tehnologie IEEE 802.11					
Tehnologia rețelei de acces	Nodul sursă [nod ID]	Punctul de acces [nod ID]	Capacitatea canalului [Mbps]	Raza de transmisie [m]	Intervalul Beacon [s]
802.11b	1	2	11	150	200
802.11g	1	3	24	50	200
802.11a	1	4	18	150	200

Tabelul 6.10 Nodul sursă [nod ID] = 1 atașat la segmentul de acces IEEE 802.11 printr-una din interfețele de acces ale rețelei

Observații:

1. Pe lângă abilitatea de gestionare în mod distribuit a resurselor unei rețele multi-domeniu, flexibilitatea modelului propus I-NAME va fi reflectată în abilitatea nodului sursă în a-și selecta rețeaua de acces ce asigură resursele necesare rulării aplicației date. Selectarea unei interfețe de acces optime resurselor necesare rulării aplicației date o regăsim și la nodul destinație.
2. Abilitatea selectării rețelei de acces (access network discovery) este o componentă adiacentă a modelului I-NAME, completând în mod definitoriu capacitatea de gestionare și adaptare a resurselor solicitate de aplicația utilizator la capacitatea rețelei.

Conform Tabelului 6.10, segmentului de acces IEEE 802.11 îi sunt asociate trei tehnologii de acces wireless independente, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b și IEEE 802.11g. Fiecare tehnologie de acces are asociat propriul model de implementare în simulatorul de rețele QualNet.

Modelul radio IEEE 802.11a operează în banda de frecvențe de 5 GHz utilizând tehnica de transmisie prin multiplexare cu divizare în frecvențe ortogonale (*OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) și oferind suport pentru următoarele rate de transfer (conform standardului): 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 și 54 (în Mbps).

Modelul radio IEEE 802.11b operează în banda de frecvențe de 2.4 GHz utilizând tehnica de transmisie cu spectru împrăștiat prin secvență directă (*DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum*) și oferind suport pentru următoarele rate de transfer (conform standardului): 1, 2, 5.5, și 11 (în Mbps).

Modelul radio IEEE 802.11g operează în banda de frecvențe de 2.4 GHz și este compatibil inferior, conform standardului, cu modelul radio IEEE 802.11b. Ca tehnică de transmisie utilizează spectrul împrăștiat prin secvență directă (*DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum*) pentru ratele de transfer de 1, 2, 5.5 și 11 (în Mbps), respectiv multiplexarea cu divizare în frecvențe ortogonale la rată extinsă (*ERP – OFDM, Extended Rate PHY – Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) pentru ratele de transfer de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 și 54 (în Mbps).

Parametrii stratului fizic asociați fiecărei tehnologii în parte pentru segmentul rețelei de acces IEEE 802.11, frecvențele de operare, câștigurile antenelor și puterile de transmisie specifice sunt prezentate în Tabelul 6.11.

Parametrii specifici ai segmentului IEEE 802.11			
Tehnologia rețelei de acces	Frecvența [GHz]	Câștigul antenei [dB]	Puterea de transmisie [dBm]
802.11b	2.4	5	15
802.11g	2.4	0	18
802.11a	5	8	19

Tabelul 6.11 Setările parametrilor specifici de configurare pentru interfețele de acces IEEE 802.11

Observații:

1. Corelând datele prezentate în Tabelul 6.10 cu cele prezentate în Tabelul 6.11 putem observa dependența dintre (1) frecvența de operare a sistemului, (2) puterea de transmisie a antenei și (3) câștigul asociat antenei de transmisie.

2. Pentru aceeași rază de transmisie, în cazul tehnologiei IEEE 802.11a ce operează în banda de 5GHz puterea efectivă izotropă radiată (înglobând puterea activă de transmisie și puterea pasivă a câștigului antenei) este mai mare cu 7dB decât în cazul tehnologiei IEEE 802.11b ce operează în banda de 2.5 GHz.

Nodul destinație (DN) este atașat segmentului de acces în tehnologie IEEE 802.16. Pentru sistemele în tehnologie IEEE 802.16, simulatorul de rețele QualNet implementează tehnica de acces multiplu cu divizare în frecvențe ortogonale (OFDMA, *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), tehnică de transmisie și tehnică de acces în același timp.

Observații:

1. Tehnica OFDMA este similară tehnicii OFDM, folosind însă sub-purtătoare multiple pentru transmiterea datelor. În timp ce prin intermediul tehnicii OFDM toate sub-purtătoarele disponibile erau utilizate pentru o singură transmisie, tehnica OFDMA permite gruparea și utilizarea a câte unui set de sub-purtătoare pentru transmisia pe traseul ascendent respectiv pe traseul descendent.
2. Ratele de transfer a datelor obținute prin folosirea tehnicii de acces multiplu cu divizare în frecvențe ortogonale sunt funcție de lărgimea benzii canalului de transmisie, dimensiunea ferestrei FFT, factorul de eșantionare, schema de modulație, schema de codare și rata de codare.

Prin intermediul tehnicii OFDMA și al profilului adaptiv al salvei de transmisie (*adaptive burst profile*), modelul radio IEEE 802.16 permite alocări variabile ale capacității canalului, dimensiuni variabile ale ferestrei de eșantionare în cazul transformărilor FFT, scheme de modulație diferite (QPSK, 16QAM și 64QAM) ce asigură o varietate largă a ratelor de codare.

Valorile specifice ale parametrilor de configurare pentru segmentul de rețea de acces în tehnologie IEEE 802.16 sunt prezentate în Tabelul 6.12.

Segmentul de acces în tehnologie IEEE 802.16								
Tehnologia rețelei de acces	Nodul destinație [nod ID]	Stația de bază [nod ID]	Raza de transmisie [m]	Capacitatea canalului [Mbps]	Capacitatea canalului descendent [Mbps]	Dimensiunea ferestrei FFT	Numărul de sub-purtătoare	Banda canalului de transmisie [MHz]
802.16	15	12	330	28.56	14.28	2048	1440	20
802.16	15	13	150	21.17	10.58	2048	1440	14
802.16	15	14	200	15.12	7.56	1024	720	10

Tabelul 6.12 Nodul destinație [nod ID] = 15 atașat la segmentul de acces IEEE 802.16 printr-una din interfețele de acces ale rețelei

Alocând valorile prezentate în Tabelul 6.12, putem modela un profil adaptiv al salvei de acces și totodată capabilități diferite pentru rețelele de acces asociate segmentului în tehnologie IEEE 802.16.

Valori ale parametrilor la nivel de strat fizic (frecvențe de operare, puteri de transmisie și câștiguri ale antenelor) sunt prezentate în Tabelul 6.13.

Tehnologia rețelei de acces	Frecvența [GHz]	Câștigul antenei [dB]	Puterea de transmisie [dBm]
802.16	2.5	10	15
802.16	2.5	5	15
802.16	2.5	5	15

Tabelul 6.13 Setările parametrilor de configurare specifici pentru interfețele de acces IEEE 802.16

6.5.4. Setările parametrilor de configurare a legăturilor și traficului rulat în rețea

Performanțele modelului propus I-NAME în auto-gestionarea resurselor rețelei au fost evaluate în termeni de (1) întârziere medie de transmisie cap-la-cap și (2) capacitate de transfer solicitate de aplicația din nodul sursă, în comparație cu abilitatea rețelei de a gestiona traficul de tip best effort (*BE*, ***Best Effort***) sau traficul marcat QoS prin câmpul de prioritate precedentă IP (*IP Precedence*).

Segmentele rețelelor de acces în standard IEEE 802.11 și IEEE 802.16, din punct de vedere al suportului pentru transferul informațional, prezintă capabilități de activare a parametrilor QoS la nivelul simulatorului de rețele QualNet.

În Tabelul 6.14 sunt prezentate în mod sintetic tehnologiile asociate interfețelor de acces, clasele de servicii QoS corespondente fiecărui segment, caracteristicile legăturilor și nodurile asociate fiecărei tehnologii de acces în parte.

Rețelele de acces și nodurile asociate fiecărei subrețele						
Segmentul rețelei de acces	Categorii/clase QoS la nivel de strat 2	Segmentul subrețelei de acces	Capacitatea canalului [Mbps]	Nodurile asociate subrețelei de acces [nod ID]	AP/BS asociat [node ID]	Tehnica de acces
Rețea de acces în tehnologie IEEE 802.11	AC[0], AC[1], AC[2], AC[3].	IEEE 802.11b	11	16, 17, 18	2	CSMA/CA
		IEEE 802.11g	24	19, 20, 21	3	
		IEEE 802.11a	18	22, 23, 24	4	
Rețea de acces în tehnologie IEEE 802.16	UGS, ertPS, rtPS, nrtPS.	IEEE 802.16	28.56	25, 26, 27	12	TDMA
		IEEE 802.16	21.17	28, 29, 30	13	
		IEEE 802.16	15.12	31, 32, 33	14	

Tabelul 6.14 Segmentele subrețelelor de acces, caracteristicile legăturilor și nodurile asociate fiecărei subrețele de acces radio

În vederea creșterii complexității arhitecturii rețelei inter-domeniu și urmărind totodată diversificarea condițiilor de trafic pe traseul dintre nodul sursă (NS) și nodul destinație (ND), au fost atașate în mod suplimentar un număr de trei noduri wireless la fiecare segment al subrețelelor de acces așa după cum este prezentat în Tabelul 6.14.

Observații:

1. Studiile anterioare au arătat faptul că într-un scenariu hibrid inter-sistem, segmentul rețelei de acces (prin comparație cel al rețelei nucleu) aduce cele mai importante limitări în ceea ce privește introducerea întârzierilor și limitarea capacității de trafic. [Pus08f]

2. *Motivația atașării nodurilor radio suplimentare la segmentele subrețelelor de acces s-a făcut cu scopul introducerii unui trafic redundant suplimentar în segmentele critice ale rețelei și implicit a încărcării arhitecturii analizate.*

Fiind o colecție de tehnologii, segmentul rețelei nucleu (*core network*) este descris prin noduri generice (*GNs*, **Generic Nodes**) și trasee generice (*GPs*, **Generic Paths**). Traseele generice sunt legături radio sau cablate punct-la-punct între nodurile generice.

Simulatorul de rețele QualNet permite definirea unor astfel de legături generice caracterizate de o anumită capacitate de transfer și de o întârziere asociată. Toți parametri ce descriu setul de valori alocate legăturilor generice sunt prezentați în Tabelul 6.15.

Fiecare traseu generic (GP) este identificat printr-un număr inserat între parantezele drepte și denumit identificator al traseului generic [traseu ID].

Setările traseelor generice la nivelul rețelei nucleu					
Segmentul rețelei nucleu	Segmentul de subrețea	Traseul generic [traseu ID]	Întârzierea de propagare	Capacitatea canalului	Tehnica de acces
Ethernet	cablat	1	2 μ s	10 Gbps	CSAM/CD
	cablat	2	2 μ s	10 Gbps	CSAM/CD
	cablat	3	2 μ s	10 Gbps	CSAM/CD
Generic MAC	radio	4	1 ms	100 Mbps	Abstract MAC
	radio	5	100 μ s	10 Gbps	Abstract MAC
	radio	6	2.5 ms	10 Mbps	Abstract MAC
	radio	7	1 ms	100 Mbps	Abstract MAC
	radio	8	250 μ s	100 Mbps	Abstract MAC
	radio	9	500 μ s	1 Gbps	Abstract MAC
	radio	10	500 μ s	100 Mbps	Abstract MAC
	radio	11	250 μ s	100 Mbps	Abstract MAC
	radio	12	500 μ s	1 Gbps	Abstract MAC
	radio	13	2 ms	10 Mbps	Abstract MAC
	radio	14	1 ms	1 Gbps	Abstract MAC
Ethernet	cablat	15	1.5 μ s	1 Gbps	CSAM/CD
	cablat	16	1.5 μ s	1 Gbps	CSAM/CD
	cablat	17	1.5 μ s	1 Gbps	CSAM/CD

Tabelul 6.15 Traseele generice din componența rețelei nucleu

Modelul Ethernet selectat pe anumite segmente ale rețelei nucleu implementează specificațiile standardului IEEE 802.3 MAC.

Modelul Generic MAC indică selectarea unei tehnici de acces la mediul radio pentru diferite segmente ale rețelei nucleu. Această tehnică de acces denumită în mod generic Abstract MAC permite impunerea unor debite și întârzieri pe o anumită legătură radio.

Aplicația de interes pentru scenariul hibrid analizat rulează între nodul sursă [nod ID = 1] și nodul destinație [nod ID = 15]. După cum a fost menționat, nodul sursă (SN) este atașat segmentului de acces wireless în standard IEEE 802.11 iar nodul destinație (DN) este atașat segmentului de acces wireless în standard IEEE 802.16. De asemenea, fiecare segment al rețelei de acces radio este compus din trei subrețele ce prezintă implementări diferite ale standardelor de bază IEEE 802.11 și IEEE 802.16.

În Tabelul 6.14 au fost identificate seturi de câte trei noduri wireless asociate celor șase subrețele de acces radio. În vederea diversificării și creșterii complexității traficului vehiculat în scenariul studiat, la nivelul fiecărui nod wireless a fost atașată câte o aplicație cu debit constant așa după cum este prezentată în Tabelul 6.16.

S-au simulat trei seturi de aplicații bi-direcționale pe fiecare segment al subrețelelor de acces. În cazul fiecărei aplicații bi-direcționale, nodurile corespundente sunt identificate pe rând ca nod sursă, iar apoi ca nod destinație. Astfel, fiecărui nod sursă îi corespunde în mod unic un nod destinație și reciproc.

Identificatorii nodurilor între care este rulat acest trafic redundant bi-direcțional introdus în rețea și caracteristicile aplicațiilor rulate (dimensiunea pachetului, distanța între pachete, debitul aplicației și intervalul de simulare) sunt prezentate în tabelul următor.

Traficul redundant introdus în rețea						
Tipul aplicației	Nodul sursă [nod ID]	Nodul destinație [nod ID]	Dimensiunea pachetului [octeți]	Distanța între pachete [ms]	Debitul aplicației [kbps]	Intervalul de simulare [s]
CBR	16, 25; 19, 28; 22, 31;	25, 16; 28, 19; 31, 22;	900	2.00	360	120
CBR	17, 26; 20, 29; 23, 32;	26, 17; 29, 20; 32, 23;	900	2.56	281	120
CBR	18, 27; 21, 30; 24, 33;	27, 18; 30, 21; 33, 24;	900	3.20	225	120

Tabelul 6.16 Identificatorii nodurilor și parametrii aplicațiilor rulate în rețea ca trafic redundant

Observații:

1. Traficul redundant introdus în rețea are aceleași caracteristici pe toate segmentele subrețelelor de acces, fără a favoriza atașarea nodului sursă sau a nodului destinație la una dintre acestea.
2. Cum mecanismul I-NAME indică traseul optim între nodul sursă și nodul destinație, adaptând solicitările aplicației la capacitatea rețelei, atât pe segmentul rețelei de acces cât și în rețeaua nucleu, putem spune că modelul prezintă caracteristici de descoperire a rețelei de acces.

6.5.5. Parametrii de configurare globali ai aplicației de test

Modelul propus I-NAME a fost dezvoltat pentru a evidenția o modalitate de realizare a unui management integrat al resurselor într-un scenariu hibrid inter-domeniu.

Dezvoltarea și implementarea modelului I-NAME, conform specificațiilor de integrare, au fost realizate pentru versiunea 4.5 simulatorului de rețele QualNet.

Observații:

1. QualNet 4.5 Developer este versiunea comercială a simulatorului QualNet la momentul scrierii lucrării.
2. Primele variante de implementare și integrare ale modelului I-NAME au fost dezvoltate pentru versiunea 4.0 a simulatorului, fiind adaptate ulterior la versiunea 4.5.

Performanța modelului I-NAME este evaluată în termenii de abilitate de selectare a unui traseu inter-domeniu cap-la-cap într-un scenariu cu menținerea întârzierii de transmisie sub valoarea minimă solicitată, pentru o aplicație de test discriminată de timp (*time-critical application*) și modelată cu o sursă de generare constantă a ratei de bit (*CBR, Constant Bit Rate*).

Există două categorii de rețele de acces (vezi Tabelul 6.11 și Tabelul 6.13) și o rețea nucleu cu infrastructură combinată wireless-wired (vezi Tabelul 6.15).

Aplicația de test a fost rulată între nodul sursă (nod ID = 1) asociat segmentului de rețea de acces WLAN (în tehnologie IEEE 802.11) și nodul destinație (nod ID = 15) atașat segmentului de rețea de acces WMAN (în tehnologie IEEE 802.16). Aplicația a fost rulată peste segmentul nucleu al rețelei.

Parametrii globali asociați aplicației de test										
Tipul aplicației rulate	CBR (<i>Constant Bit Rate</i>)									
Nodul sursă [nod ID]	1									
Nodul destinație [nod ID]	15									
Durata de simulare [s]	100									
Variațiile intervalului dintre pachetele transmise, variațiile numărului de pachete transmise și variațiile dimensiunilor pachetelor transmise în scenariile de analiză										
Intervalul dintre pachete [ms]	0.500	0.285	0.200	0.166	0.142	0.125	0.111	0.100	0.090	0.080
Nr. de pachete transmise [pps]	200	350	500	600	700	800	900	1000	1100	1250
Dimensiunea pachetului [octeți]	200 până la 1600 (cu pasul de 100 de octeți)									

Tabelul 6.17 Parametrii de configurare globali ai aplicației de test

Prin intermediul parametrilor de configurare a fost modelat un comportament complex al aplicației de test rulate în nodul sursă. Totodată, variațiile parametrice prezentate în Tabelul 6.17 au urmărit și modelarea încărcării cu trafic a rețelei, de la o încărcare relativ scăzută până la capacitatea maximă de încărcare a rețelei.

Configurările parametrice ilustrează legătura aplicație-rețea pentru două categorii de scenarii ce au vizat:

- (1) variații ale dimensiunii pachetelor transmise și
- (2) variații ale intervalului dintre pachetele transmise (sau ale unui număr corespunzător de pachete transmise).

6.5.6. Parametrii de configurare specifici aplicației de test descriși prin modelul I-NAME

Suplimentar configurării parametrice globale a aplicației de test prezentată în Tabelul 6.17, modelul propus I-NAME introduce două seturi parametrice specifice de descriere a aplicației prin:

- (1) parametrii QoS și
- (2) ponderile parametrice QoS.

Aceste seturi parametrice reprezintă elementul distinctiv al modelului I-NAME și sunt incluse în profilele QoS caracteristice. În testarea prin simulare a modelului I-NAME, parametrii QoS modelează cerințele aplicației în funcție de caracterul specific al fiecărei aplicații în parte, iar ponderile parametrice QoS asociate indică gradul de prioritate al acestor parametrii pentru aplicația dată.

Pentru fiecare din cele două categorii de scenarii și variațiile asociate prezentate anterior în Tabelul 6.17 se alocă câte două seturi de valori distincte ale parametrilor specifici asociați descrierii aplicației de test conform modelului I-NAME. Aceste seturi parametrice specifice aplicației de test sunt prezentate în Tabelul 6.18.

Parametrii specifici aplicației de test conform modelului I-NAME	
Modelarea cerințelor aplicației prin parametrii QoS	
Debitul necesar rulării aplicației – T [kbps]	debitului aplicației sursă
Întârzierea maximă necesară rulării aplicației – D [s]	0.01
Jitterul maxim necesar rulării aplicației – J [s]	0.1
Ponderile parametrice QoS asociate primului set de parametri specifici I-NAME	
Pondere debit – TW	0
Pondere întârziere – DW	1
Pondere jitter – JW	0

Tabelul 6.18 Parametri de configurare specifici aplicației de test descriși prin intermediul modelului I-NAME

Observații:

1. Conform modelului I-NAME, cerințele aplicației de test sunt exprimate prin setul de parametri QoS ce caracterizează sensibilitatea aplicației la anumite valori ale debitului, întârzierilor și jitter-ului, și prin ponderile parametrice QoS ce indică gradul de prioritate al parametrilor QoS pentru o aplicație dată.
2. Aplicația de test fiind generată de o sursă ce modelează o aplicație critică în timp, pentru primul set de parametri specifici modelului I-NAME, întârzierea este considerată ca fiind elementul QoS cu ponderea parametrică cea mai ridicată ($DW = 1$).

6.5.7. Rularea aplicației de test într-un scenariu inter-domeniu cu acces hibrid

Pașii preliminari rulării aplicației de test au constat în configurarea fișierului de intrare (*.config*) și a fișierelor adiacente apelate în fișierul de configurare (*.app* și *.nodes*).

Valorile alocate parametrilor de simulare globali și specifici ai aplicației de test sunt prezentate în Tabelul 6.17 și Tabelul 6.18, iar setul valorilor aplicate simulatorului pentru configurarea rețelei și a aplicațiilor de trafic redundant în rețea este prezentat de la Tabelul 6.8 până la Tabelul 6.16.

În partea de anexe este prezentată structura fișierului de configurare QualNet și a fișierelor adiacente necesare rulării scenariului inter-domeniu.

În Anexa 6.3 sunt descrise părți din fișierul de configurare “*.config*”, cu ilustrarea configurărilor la nivelul straturilor din stiva ISO/OSI. Fișierul “*.app*” inclus în Anexa 6.4 indică parametrii specifici aplicațiilor, iar fișierul “*.nodes*” prezentat în Anexa 6.5 indică locația nodurilor în scenariul analizat.

Conform setului de parametri de configurare ai aplicației de test (vezi Tabelul 6.19), a fost necesară rularea unui număr total de peste 1500 de scenarii de simulare în faza finală a analizei, fără a considera seriile de simulări și ajustările din fazele anterioare (vezi descrierea din paragraful ce prezintă modul de lucru cu fișierele simulatorului de rețele QualNet și fazele unei simulări).

În consecință, pentru automatizarea procesului de simulare, a fost creat un fișier script *.sh* ce configurează în mod dinamic fișierul aplicațiilor (*.app*) prin ajustări iterative ale parametrilor aplicației de test. Structura fișierului este prezentată în Anexa 6.6. Fișierul *.sh* declanșează întreg procesul de simulare prin comanda:

```
// Rularea fisierului script al aplicatiei de test  
emanuel@emanuel:~/ run test.sh rezultate
```

În urma rulării fișierului script *.sh*, rezultatele de interes sunt extrase și plasate într-un fișier separat pentru a fi analizate și interpretate (*rezultate*). Anexa 6.7 prezintă structura fișierului în care au fost extrase rezultatele corespunzătoare rulării primului scenariu (vezi Tabelul 6.17) și având aplicația de test configurată cu valorile primului set de parametri specifici I-NAME.

6.6 Evaluarea și validarea performanțelor modelului I-NAME

Scenariile evaluate prin intermediul modelului I-NAME vor ilustra performanțele unui management integrat distribuit al resurselor rețelei (*in-network distributed management*) în comparație cu tratarea fără garantarea resurselor (*BE, Best Effort*), respectiv cu livrarea unui trafic gestionat în mod centralizat și marcat cu priorități QoS în rețeaua de acces (*IP Precedence*).

Performanța modelului I-NAME este evidențiată prin capacitatea mecanismului propus de a selecta un traseu intermediar între nodul sursă și nodul destinație prin utilizarea setului de parametri QoS specifici (parametri QoS și ponderile parametrice QoS) ce caracterizează cerințele aplicației și oferă o tratare parametrică prioritară a aplicației. Aceste elemente au fost definite și implementate la nivelul profilelor QoS ale modelului.

Totodată mecanismul modelului I-NAME descrie modul de adaptare succesivă a cerințelor aplicației la contextul rețelei, cu asigurarea cap-la-cap a parametrilor QoS negociați.

Adaptarea aplicației sursă prin fragmentare corespunde modificării dimensiunii pachetului, iar adaptarea aplicației sursă prin modificarea debitului de transmisie corespunde modificării intervalului dintre pachetele transmise (vezi descrierea profilului QoS adoptat).

În cazul unei analize prin simulare (*simulation analysis*), ca și în cazul unui raport de expertiză al sitului (*site survey*), se operează cu doi parametri de interes:

- (1) dimensiunea pachetului (*packet size*) și
- (2) intervalul dintre pachete (*interframe space*).

Cum modelul I-NAME este definit la joncțiunea (sau granița, interferența) dintre cerințele aplicației și capacitatea rețelei, în cadrul scenariilor analizate este pusă în evidență interdependența binomului aplicație – rețea prin variația celor doi parametri.

Suplimentar evaluării performanței în termeni de selectare a traseului optim cap-la-cap, analiza evidențiază capacitatea modelului propus I-NAME de a se adapta la capacitatea rețelei.

Fiind o analiză cantitativă, parametrii de evaluare a scenariilor simulate au pus în evidență abilitatea modelului I-NAME de a gestiona resursele rețelei (*network resource management*) prin:

- (1) capacitatea de selectare a celui mai bun traseu până la destinație (*best path selection to the destination*) pe baza profilelor QoS; profilele QoS includ parametrii QoS, ce descriu cerințele aplicației și ponderile parametrice QoS asociate ce indică prioritatea parametrilor QoS;
- (2) asigurarea unei valori minime a întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap (*average end-to-end transmission delay*) cu variația parametrilor rețelei pe traseul selectat.

Pentru a ilustra performanțele modelului I-NAME, capabil de un management integrat al rețelei (*in-network management*) prin comparație cu modelul centralizat de gestionare a resurselor (*centralized network management*), am alocat diferite priorități parametrilor QoS gestionați de mecanismele particulare fiecărei rețele de acces în parte. Evidențiem astfel patru cazuri distincte în care a fost analizată aplicația de test:

- (1) rularea aplicației cu suport I-NAME;
- (2) rularea aplicației cu suport BE;
- (3) rularea aplicației cu suport QoS [IP Precedence = 3];
- (4) rularea aplicației cu suport QoS [IP Precedence = 6].

Considerând afirmațiile anterioare, evaluarea performanțelor modelului I-NAME este realizată în scenarii de analiză ce pun în evidență efectul variației intervalului dintre pachetele transmise și efectul variației numărului de pachete transmise asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap.

Rularea scenariilor de analiză a presupus configurarea simulatorului cu setul de parametri prezentați în Tabelul 6.19.

Parametrii de configurare ai simulatorului										
Parametrii globali asociați aplicației de test										
Tipul aplicației rulate	CBR									
Nodul sursă [nod ID]	1									
Nodul destinație [nod ID]	15									
Durata de simulare [s]	100									
Parametrii specifici asociați aplicației de test conform modelului I-NAME										
Debit necesar rulării aplicației – T [kbps]	debitului aplicației sursă									
Întârziere de prag necesară rulării aplicației – D [s]	0.01									
Jitter de prag necesar rulării aplicației – J [s]	0.001									
Ponderile parametrice QoS asociate primului set de parametri specifici I-NAME										
Pondere debit – TW	0									
Pondere întârziere – DW	1									
Pondere jitter – JW	0									
Variația intervalelor dintre pachete, a numărului de pachete și a dimensiunii pachetelor transmise										
Intervalul dintre pachete [s]	0.005	0.0028	0.002	0.0016	0.0014	0.0012	0.0011	0.001	0.0009	0.0008
Nr. de pachete transmise [pps]	200	350	500	600	700	800	900	1000	1100	1250
Dimensiunea pachetului [octeți]	200 până la 1600 (cu pasul de 100 de octeți)									

Tabelul 6.19 Configurarea aplicației de test pentru scenariile de analiză

Observații:

1. Pentru o transmisie continuă pe toată durata intervalului de simulare, QualNet permite setarea parametrului <number of packets> la valoarea zero. În acest caz, numărul de pachete transmise va fi determinat de intervalul de simulare al aplicației (<end time> - <start time>) și de valoarea parametrului <interval>, reprezentând intervalul dintre pachetele transmise.
2. Astfel, intervalul dintre pachetele transmise pe secundă și numărul de pachete transmise într-o secundă sunt parametri complementari.
3. Prin valorile de prag acceptate ale întârzierilor și jitter-ului (din setul de parametri QoS specifici asociați aplicației de test) înțelegem valorile pe care aplicația nu trebuie să le depășească atunci când, în urma procesului de optimizare, sunt minimizate.

Prin variațiile intervalului dintre pachetele transmise și ale numărului de pachete transmise, au fost realizate următoarele seturi de analize:

(1) Efectul variației dimensiunii pachetului asupra întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap la valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă

Scopul primului set de analize prin simulare este acela de a studia efectul variației dimensiunii pachetului asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap la valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă.

Valorile alocate intervalelor dintre pachetele transmise sunt incluse în Tabelul 6.19. Acestor intervale le corespunde un număr de pachete transmise pe secundă. Pentru fiecare valoare a numărului de pachete transmise per secundă din scenariile de simulare, este asociată câte o valoare a dimensiunii pachetului transmis.

Au fost rulate cele patru categorii de aplicații de test peste arhitectura inter-domeniu prezentată anterior, iar rezultatele simulărilor sunt reprezentate începând cu graficul din Figura 6.15, până la graficul din Figura 6.25. Anexa 6.7 include valorile numerice reprezentate în aceste grafice.

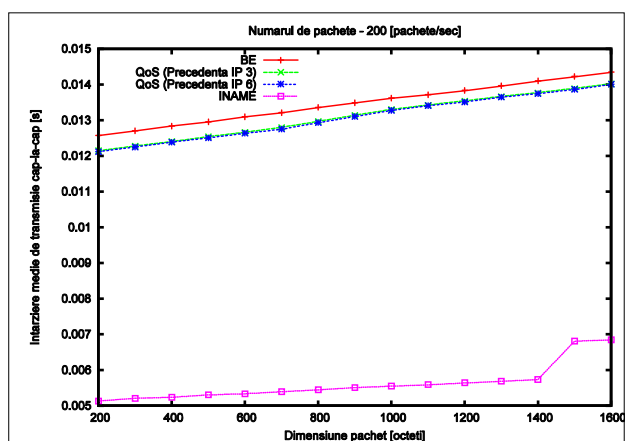


Figura 6.15 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 200 pps

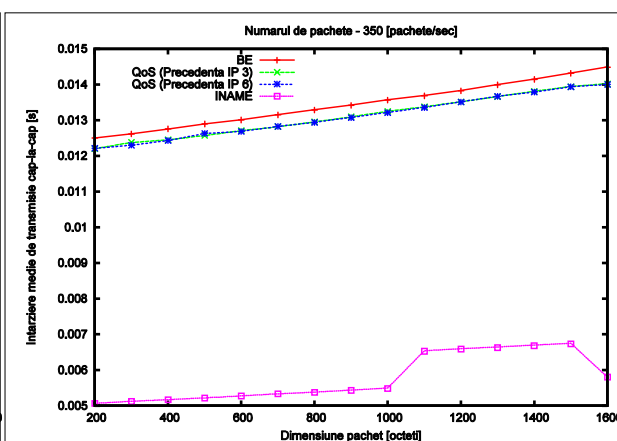


Figura 6.16 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 350 pps

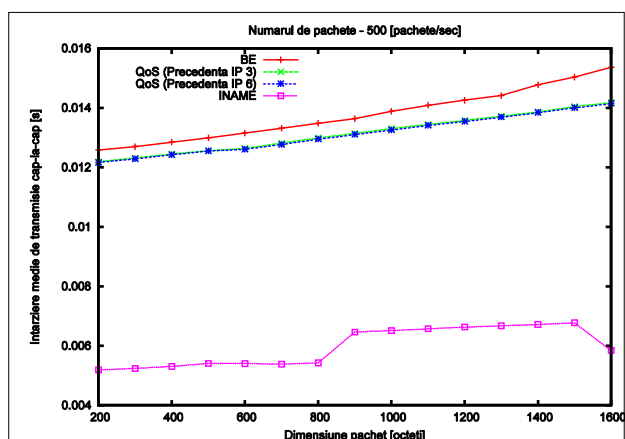


Figura 6.17 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 500 pps

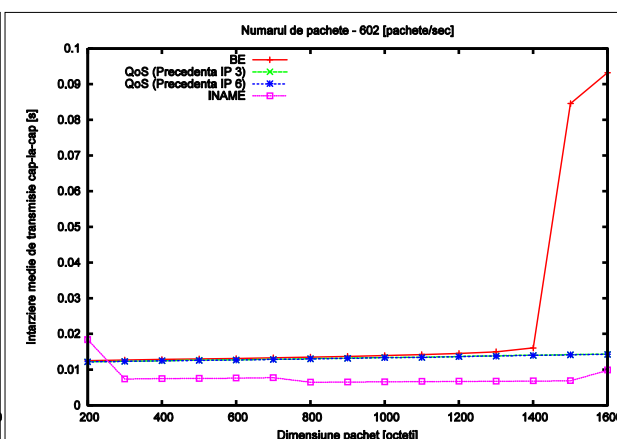


Figura 6.18 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 602 pps

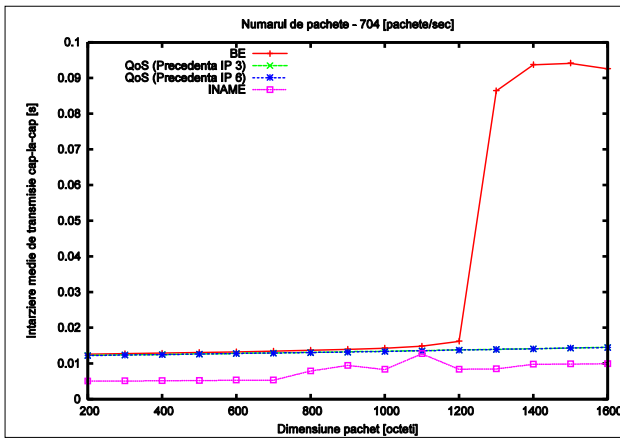


Figura 6.19 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 704 pps

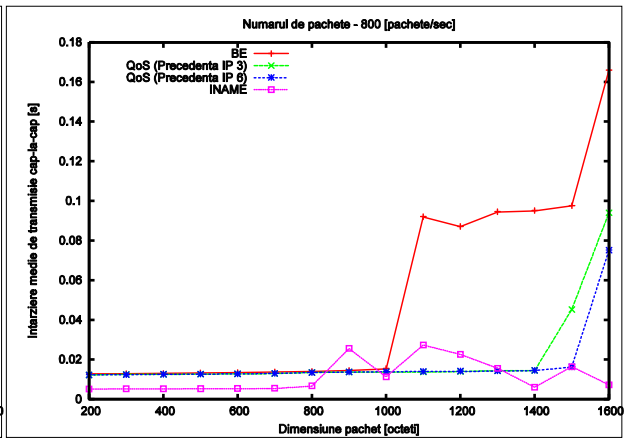


Figura 6.20 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 800 pps

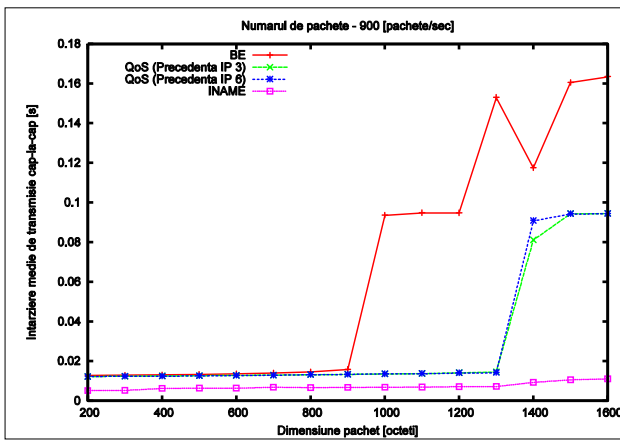


Figura 6.21 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 900 pps

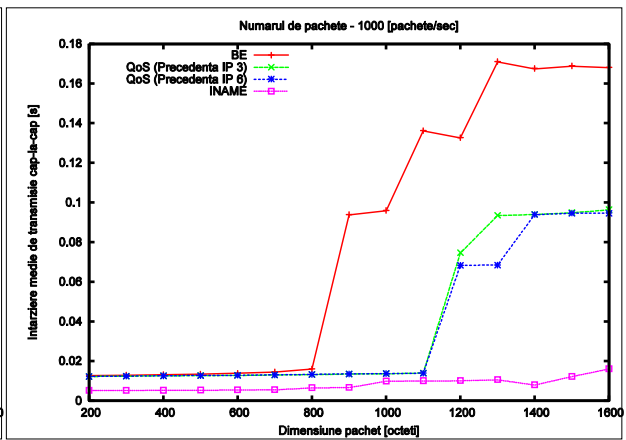


Figura 6.22 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 1000 pps

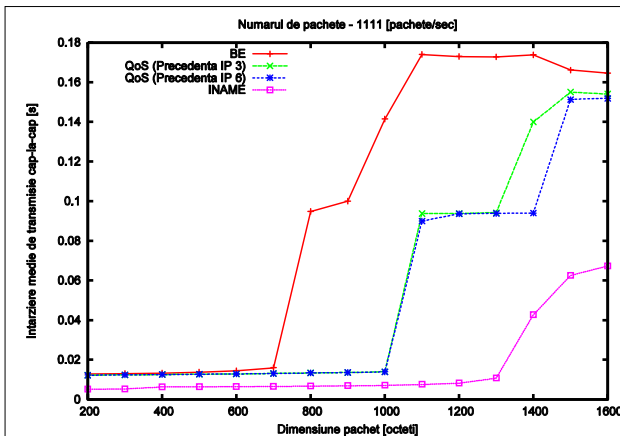


Figura 6.23 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 1111 pps

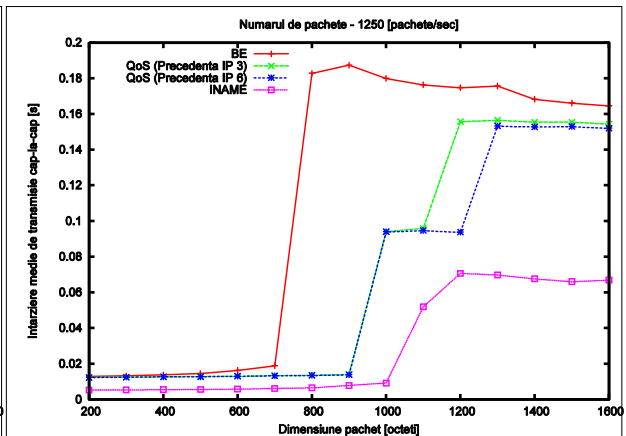


Figura 6.24 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru un număr de 1250 pps

În mod independent de suportul oferit în rețea (I-NAME, BE, IP Precedence = 3 sau IP Precedence = 6), valoarea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap pentru aplicația de test crește odată cu creșterea dimensiunii pachetului transmis. Totodată, modelele suport QoS ale aplicației de test în scenariile inter-domeniu analizate respectă prioritățile QoS alocate.

Pentru a evidenția performanțele modelului I-NAME în termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap în funcție de dimensiunea pachetului pentru valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă, în Tabelul 6.20 a fost realizată o mediere a valorilor parametrului de interes pentru fiecare din cele patru modele suport ale aplicației de test.

Variația întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap în funcție de dimensiunea pachetului și valori constante ale numărului de pachete per secundă transmise pentru cele patru modele suport ale aplicației de test				
Modelul suport al aplicației de test	Modelul BE	Model QoS IP Precedence = 3	Model QoS IP Precedence = 6	Modelul I-NAME
Parametrul de analiză				
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap minimă [s]	0.012643140	0.012220637	0.012194073	0.005426509
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap maximă [s]	0.105645738	0.066447204	0.063870021	0.020693753
Diferența dintre valorile maximă și minimă ale întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap [s]	0.093002598	0.054226567	0.0516759291	0.015267244
Îmbunătățirea adusă de fiecare model raportată la modelul BE pentru valorile diferență ale întârzierilor [%]	-	40.86	44.08	82.79

Tabelul 6.20 Analiza mediei întârzierilor de transmisie cap-la-cap pentru cele patru tipuri de modele suport ale aplicației de test cu variația dimensiunii pachetelor transmise

Tabelul 6.20 prezintă exprimarea în procente a îmbunătățirii aduse de fiecare model suport QoS prin comparație cu modelul de referință BE (*Best Effort*), raportată la diferența dintre valorile maximă și minimă ale întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap.

Îmbunătățirea adusă de modelul I-NAME în termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap este superioară modelelor suport QoS existente.

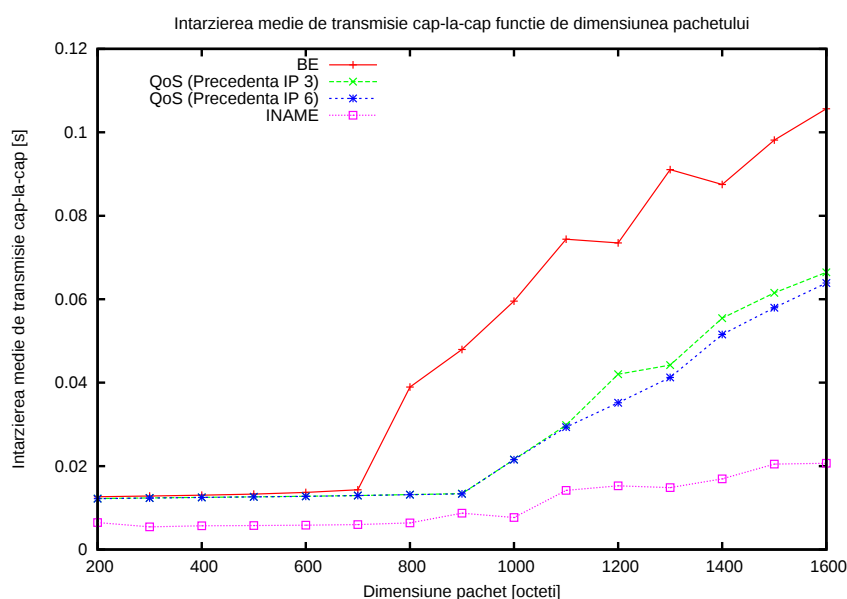


Figura 6.25 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în funcție de dimensiunea pachetului la valori constante ale numărului de pachete per secundă transmise

Figura 6.25 ilustrează în mod grafic valorile întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap pentru variații ale dimensiunii pachetului la valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă.

Din analiza rezultatelor obținute se observă o variație minimă a diferenței dintre valorile maximă și minimă ale întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap cu dimensiunea pachetului transmis pentru suportul oferit în cazul modelului I-NAME.

Modelul I-NAME interfațează cerințele aplicației cu potențialul rețelei prin intermediul profilelor QoS, profile ce descriu:

- (1) solicitările parametrice ale aplicației, prin intermediul parametrilor QoS și
- (2) prioritățile alocate acestor solicitări parametrice, prin intermediul ponderilor parametrice QoS.

Așa după cum a fost prezentat, scenariul definește ca parametru de interes întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în cadrul unei arhitecturi inter-domeniu. Conform datelor prezentate în Tabelul 6.19, ponderile parametrice QoS indică prioritatea maximă în cazul parametrului QoS întârziere ($DW = 1$) și o valoare de prag minimă acceptată a întârzierii de transmisie necesară rulării aplicației de test cu modelul I-NAME de 0.01 [s].

Deși prin comparație cu suportul oferit de celelalte modele, îmbunătățirile aduse de modelul I-NAME în termeni de asigurare a suportului QoS inter-sistem sunt considerabil mai bune în toate situațiile analizate conform analizei prezentate în Tabelul 6.20, setul rezultatelor incluse în Anexa 6.7 indică depășirea valorilor întârzierii medii de transmisie cap-la-cap de prag impuse parametrului QoS întârziere pentru 40 % din cazurile în care a fost rulată aplicația de test.

În consecință, pentru aceste cazuri, rularea aplicației de test conform algoritmului descris de modelul I-NAME în două faze (profil QoS solicitat și profil QoS acceptat) nu satisface cerințele minime solicitate fiind necesară impunerea procedurii de adaptare.

Procedura de adaptare, în contextul analizei efectului variației numărului de pachete transmise per secundă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap la valori constante ale dimensiunii pachetului, presupune:

- (1) reducerea dimensiunii pachetului prin fragmentare ($\langle packet\ size/2 \rangle$) cu menținerea numărului de pachete transmise pentru situațiile în care avem indicată depășirea valorii întârzierii minime solicitate și
- (2) menținerea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap pentru aplicația de test sub valoarea de prag indicată de parametrul QoS întârziere pentru situațiile în care s-a aplicat fragmentarea.

Valorile întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap în cazul modelui I-NAME și cele obținute în cazul modelului I-NAME cu adaptare prin fragmentare, pentru fiecare dintre scenariile de analiză, sunt incluse în Tabelul 6.21. Setul valorilor adaptate conform mecanismului I-NAME este prezentat în Anexa 6.8.

Pentru a da o măsură a câștigului adus de adaptarea prin fragmentare asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap în cazul modelul I-NAME, a fost calculat factorul de adaptare definit de Relația 6.8.

$$\text{Factorul de adaptare [\%]} = \left| \frac{\text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS} - \text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS adaptat}}{\text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS}} \right| \cdot 100 \quad (6.8)$$

În Tabelul 6.21, factorul de adaptare indică modificări ale întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap în cazul modelul I-NAME cu adaptare și pentru scenariile în care întârzierea medie de transmisie solicitată nu depășește valoarea de prag impusă de aplicația de test.

Acest lucru apare datorită faptului că, deși printre valorile mediate ale cazurilor care nu necesită adaptare, există situații izolate în care valoarea întârzierilor de transmisie cap-la-cap depășește valoarea de prag minimă impusă. Cu alte cuvinte, mecanismul I-NAME realizează adaptarea și în aceste situații.

Adaptarea parametrilor transmisiei pentru modelul I-NAME			
Dimensiune pachet [octeți]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în cazul modelului I-NAME [s]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în cazul modelului I-NAME cu adaptare prin fragmentare [s]	Factorul de adaptare [%]
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie nu depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]			
200	0.006468869	0.006468869	0.00
300	0.005426509	0.005426509	0.00
400	0.005663023	0.005686675	0.41
500	0.005765188	0.005751767	0.23
600	0.005837261	0.005820959	0.27
700	0.005976829	0.005895003	1.36
800	0.006377414	0.006053173	5.08
900	0.008727287	0.006484162	25.70
1000	0.007682841	0.006612820	13.92
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]			
1100	0.014193932	0.006588608	53.58
1200	0.015286216	0.006639315	56.56
1300	0.014827867	0.006685329	54.91
1400	0.016939820	0.006620145	60.91
1500	0.020486689	0.007447481	63.64
1600	0.020693753	0.009461445	54.27

Tabelul 6.21 Menținerea întârzierii medii de transmisie a aplicației de test sub valoarea de prag solicitată prin adaptarea dimensiunii pachetului transmis

Pentru a da o măsură a gradului de estimare a întârzierii medii de transmisie în raport cu întârzierea medie de transmisie măsurată pe traseul selectat între nodul sursă și nodul destinație, a fost calculată eroarea de estimare definită de Relația 6.9.

În urma procesului de adaptare prin fragmentare, eroarea de estimare exprimă gradul de aproximare al întârzierii medii de transmisie în raport cu întârzierea medie de transmisie cap-la-cap măsurată pe traseul selectat.

$$\text{Eroarea de estimare [\%]} = \left| \frac{(\text{Întârzierea de transmisie măsurată} - \text{Întârzierea de transmisie estimată})}{\text{Întârzierea de transmisie măsurată}} \right| \cdot 100 \quad (6.9)$$

Prin analiza erorilor determinate putem observa o bună estimare (prin intermediul mesajelor de tip probă) a întârzierilor de transmisie măsurate, în special pe segmentul în care rularea aplicației de test nu impune adaptarea parametrilor de trafic.

După introducerea mecanismului de adaptare prin fragmentare, valoarea erorilor de estimare a întârzierii medii de transmisie este redusă semnificativ pentru cazurile care necesită adaptarea. Acest aspect este cuantizat prin eroarea de estimare după adaptare.

În Tabelul 6.22 sunt prezentate variațiile întârzierilor medii de transmisie asociate modelului I-NAME și sunt determinate erorile de estimare ale întârzierilor de transmisie înainte și după adaptarea prin fragmentare.

Întârzierile medii de transmisie cap-la-cap determinate în cazul modelului I-NAME					
Dimensiune pachet [octeți]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap estimată [s]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap măsurată [s]	Eroarea de estimare [%]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap măsurată după adaptare [s]	Eroarea de estimare după adaptare [%]
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie nu depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]					
200	0.005235710	0.006468869	19.06	0.006468869	19.06
300	0.005205064	0.005426509	4.08	0.005426509	4.08
400	0.005342743	0.005663023	5.65	0.005686675	6.04
500	0.005414822	0.005765188	6.07	0.005751767	5.85
600	0.005488614	0.005837261	5.97	0.005820959	5.70
700	0.005593573	0.005976829	6.41	0.005895003	5.11
800	0.006157228	0.006377414	3.45	0.006053173	1.71
900	0.006881771	0.008727287	21.14	0.006484162	6.13
1000	0.007029039	0.007682841	8.5	0.006612820	6.29
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]					
1100	0.007454073	0.014193932	47.48	0.006588608	13.13
1200	0.007379964	0.015286216	51.72	0.006639315	11.15
1300	0.007504252	0.014827867	49.39	0.006685329	12.24
1400	0.007907757	0.016939820	53.31	0.006620145	19.44
1500	0.008529917	0.020486689	58.36	0.007447481	14.53
1600	0.009196913	0.020693753	55.55	0.009461445	27.95

Tabelul 6.22 Variația întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap (estimate/măsurate înainte și după adaptare) și a erorile de estimare calculate înainte și după adaptarea prin fragmentare

Algoritmul de management integrat al resurselor, în vederea selectării celui mai bun traseu până la destinație și asigurării unei întârzieri minime de transmisie cap-la-cap pe traseul selectat, are la bază mecanismul de identificare a nodurilor intermediare și de estimare a întârzierilor de transmisie cap-la-cap conform modelului I-NAME.

Acest mecanism reactiv constă în transmiterea distribuită a mesajelor de tip probă la începutul rulării fiecăreia aplicații de test în parte. Astfel, utilizând mesajele de tip probă, putem indica aplicației nodurile selectate în rețea și totodată putem face o estimare a întârzierilor de transmisie cap-la-cap.

Mesajele de tip probă transmise au caracteristici de configurare identice structurii celor din aplicația de test (aceeași dimensiune a pachetului și același interval de transmisie între pachete), rețeaua fiind solicitată în condiții similare rulării aplicației date.

Figura 6.26 ilustrează în mod grafic câștigul adus de adaptarea prin fragmentare a dimensiunii pachetelor la aplicația sursă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap comparativ cu rularea mecanismului I-NAME fără adaptare.

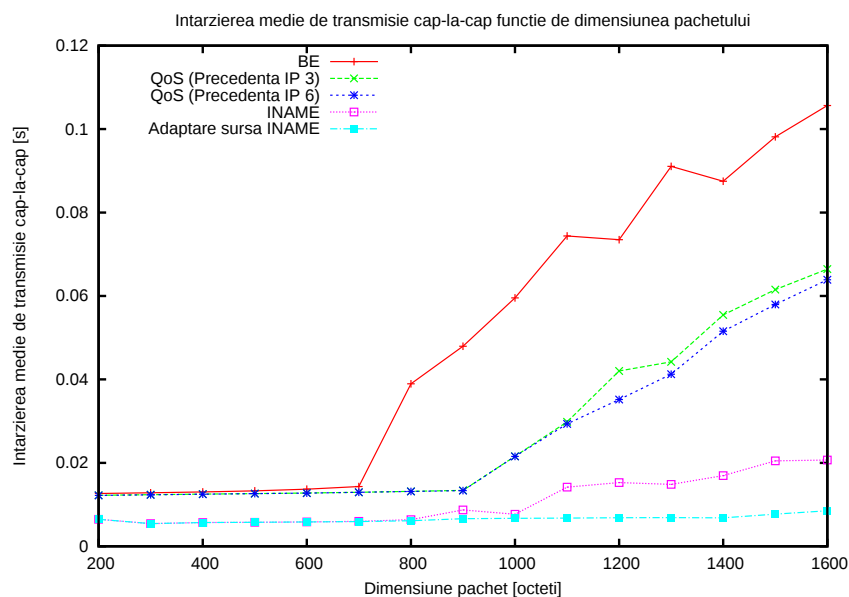


Figura 6.26 Variația întârzierii medii de transmisie la adaptarea aplicației sursă prin fragmentare conform modelului I-NAME rulat în trei faze

În Figura 6.27 este reprezentată în mod grafic variația medie a întârzierilor de transmisie estimate pe baza mesajelor de tip probă și a întârzierilor de transmisie măsurate pentru aplicațiile de test rulate în rețea în cazul variației dimensiunii pachetului cu valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă.

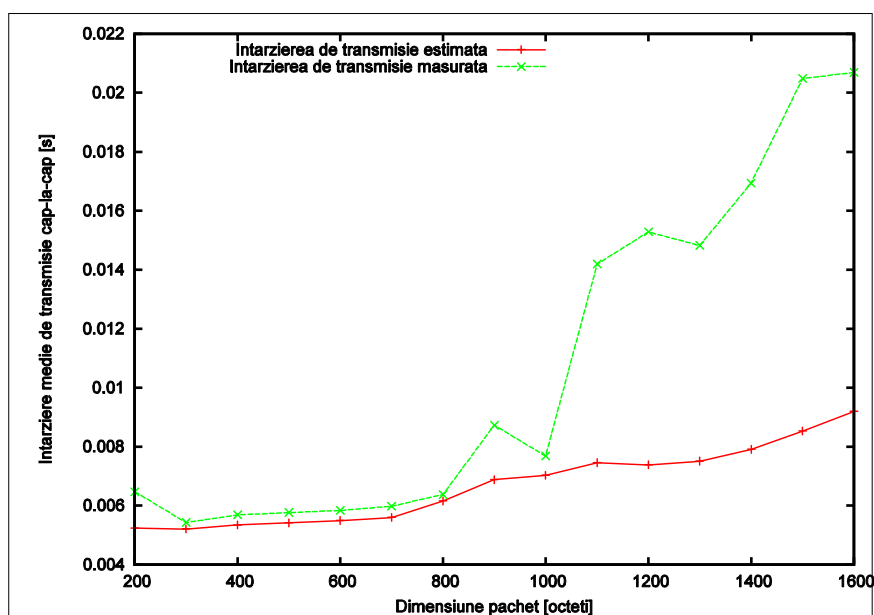


Figura 6.27 Variația întârzierilor de transmisie estimate și măsurate conform mecanismului propus prin modelul I-NAME în cazul variației dimensiunii pachetului cu valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă

În concluzie, putem spune că modelul I-NAME nu îmbunătățește doar performanțele aplicației în termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap, ci mai mult, realizează și adaptarea cerințelor aplicației la contextul rețelei prin rularea algoritmului I-NAME în trei faze (profil QoS solicitat, profil QoS negociat și profil QoS adoptat) atunci când una din solicitările parametrice QoS nu este satisfăcută.

(2) Efectul variației numărului de pachete transmise per secundă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap la valori constante ale dimensiunii pachetului

Scopul celui de-al doilea set de analize prin simulare este acela de a studia efectul variației numărului de pachete transmise per secundă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap pentru valori constante dimensiunii pachetului.

Setul de valori alocat dimensiunii pachetelor este indicat în Tabelul 6.19. Pentru fiecare valoare a dimensiunii pachetelor utilizate în scenariile de simulare, este asociat un număr constant de pachete transmise per secundă.

Și în cazul acestui set de scenarii de analiză au fost rulate cele patru categorii de aplicații de test peste arhitectura inter-domeniu cu acces hibrid prezentată anterior, iar rezultatele simulărilor sunt reprezentate începând cu graficul din Figura 6.28, până la graficul din Figura 6.42. Anexa 6.7 include valorile numerice reprezentate în aceste grafice.

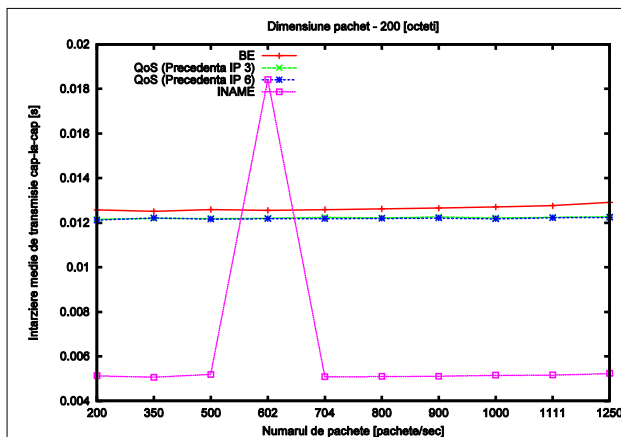


Figura 6.28 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 200 de octeți

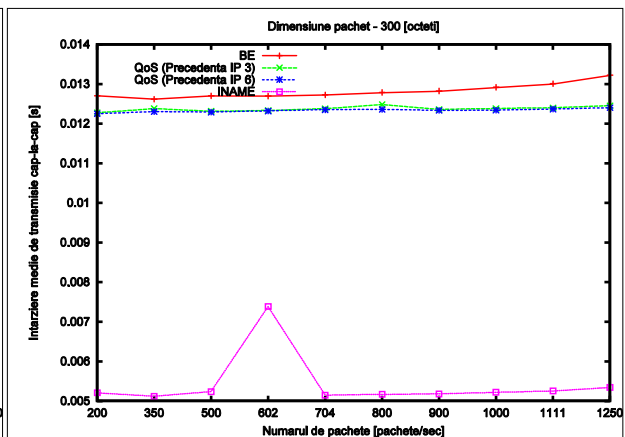


Figura 6.29 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 300 de octeți

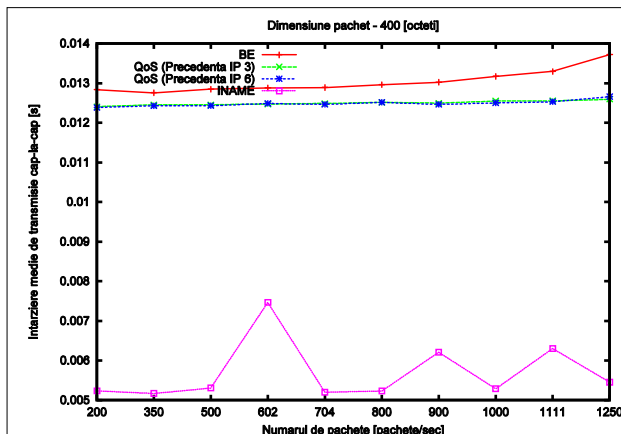


Figura 6.30 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 400 de octeți

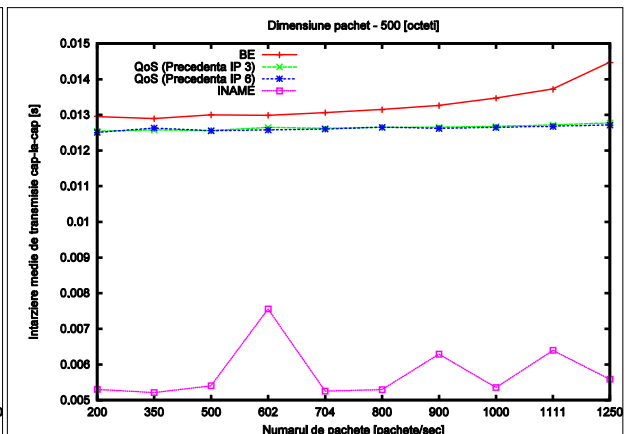


Figura 6.31 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 500 de octeți

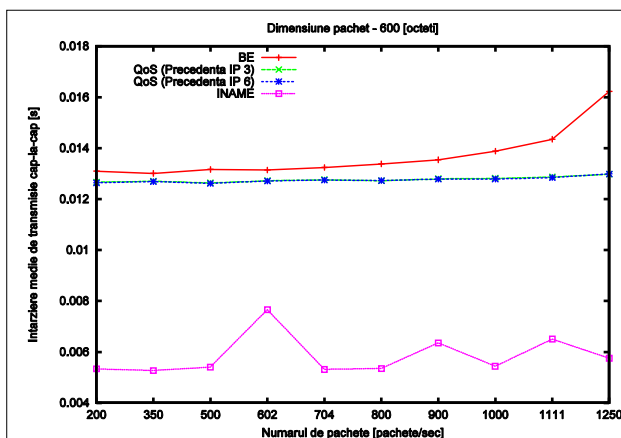


Figura 6.32 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 600 de octeți

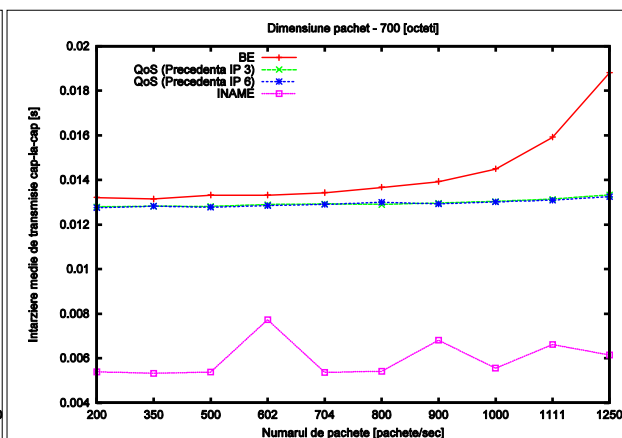


Figura 6.33 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 700 de octeți

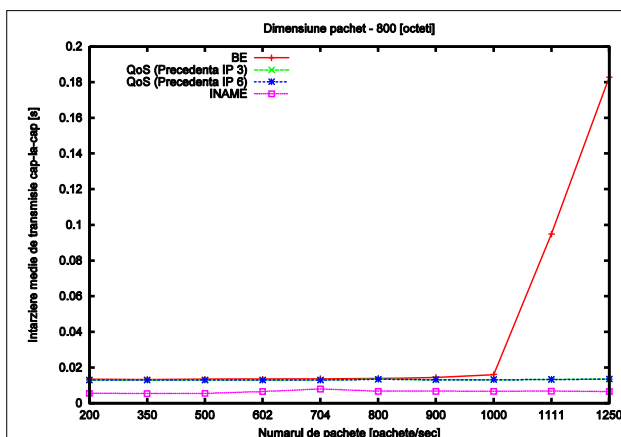


Figura 6.34 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 800 de octeți

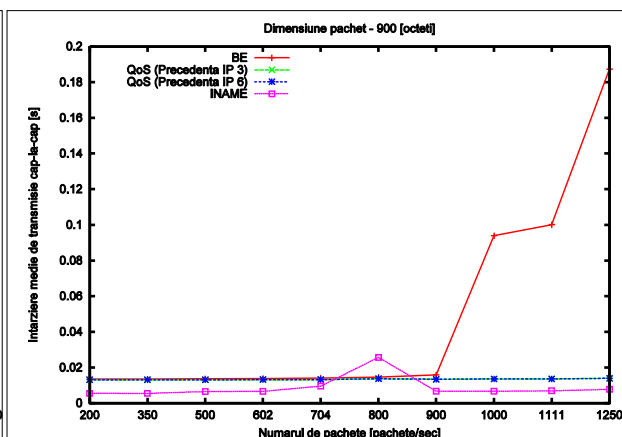


Figura 6.35 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 900 de octeți

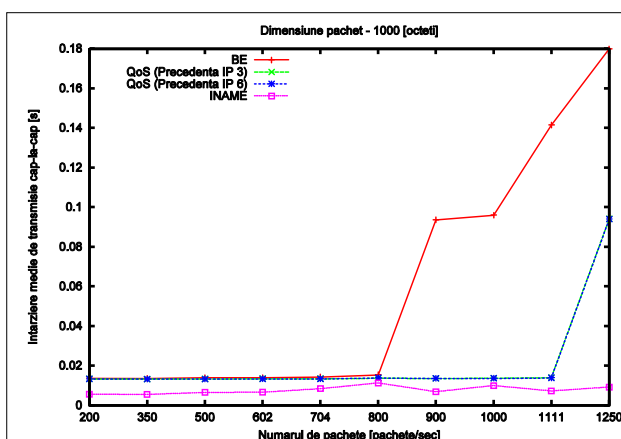


Figura 6.36 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 1000 de octeți

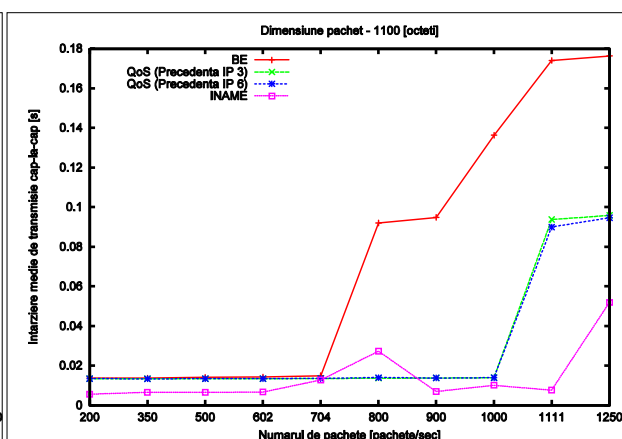


Figura 6.37 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 1100 de octeți

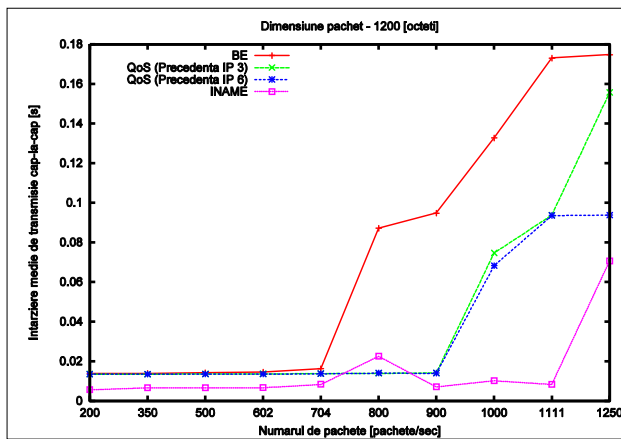


Figura 6.38 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 1200 de octeți

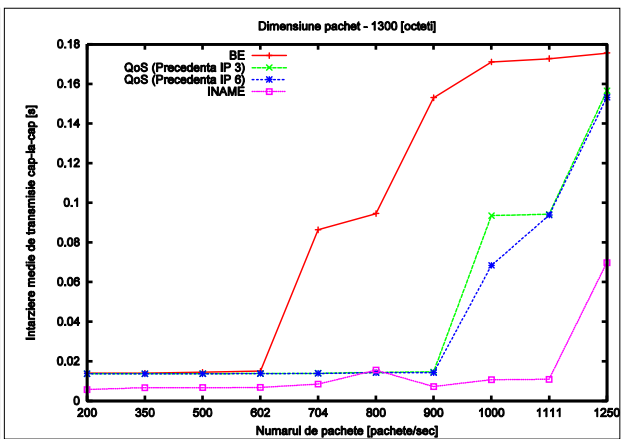


Figura 6.39 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 1300 de octeți

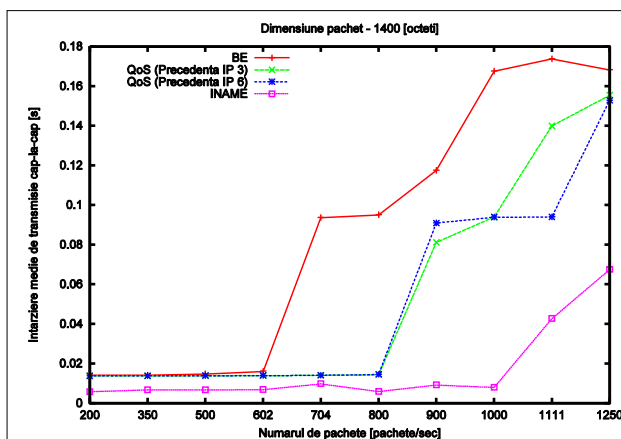


Figura 6.40 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 1400 de octeți

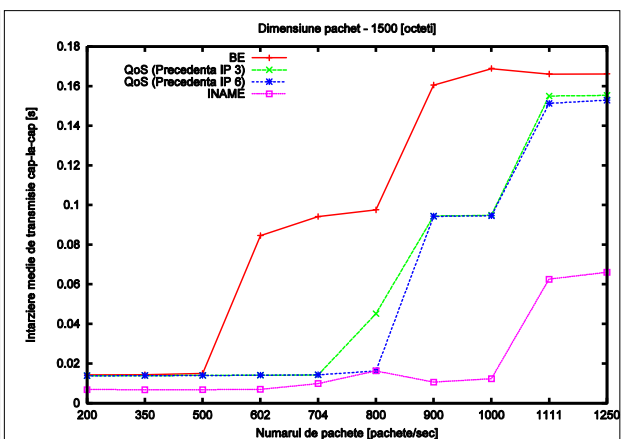


Figura 6.41 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 1500 de octeți

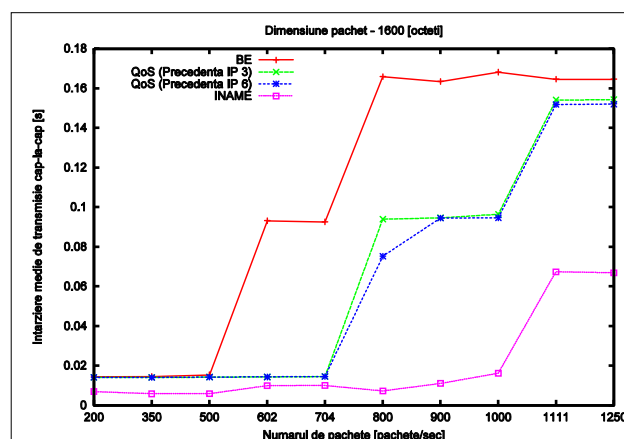


Figura 6.42 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap pentru o dimensiune a pachetului de 1600 de octeți

De această dată, pentru a evidenția performanțele modelului I-NAME în termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap în raport cu variația numărului de pachete transmise per secundă pentru valori constante ale dimensiunii pachetului, în Tabelul 6.23 a fost realizată o mediere a valorilor parametrului de interes pentru fiecare din cele patru modele suport de rulare a aplicației de test.

Variația întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap cu valori constante ale dimensiunii pachetelor și variații ale numărului de pachete transmise per secundă pentru cele patru modele suport ale aplicației de test				
Modelul suport al aplicației de test	Modelul BE	Model QoS IP Precedence = 3	Model QoS IP Precedence = 6	Modelul I-NAME
Parametrul de analiză				
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap minimă [s]	0.013441120	0.013101850	0.013075844	0.005627531
Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap maximă [s]	0.110971274	0.071426371	0.066445945	0.029979042
Diferența dintre valorile maximă și minimă ale întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap [s]	0.097530154	0.058324521	0.053370101	0.024351511
Îmbunătățirea adusă de fiecare model raportată la modelul BE pentru valorile diferență ale întârzierilor [%]	-	40.19	45.27	75.03

Tabelul 6.23 Analiza mediei întârzierilor de transmisie cap-la-cap pentru cele patru tipuri de modele suport ale aplicației de test cu variația numărului de pachete transmise per secundă

În Figura 6.43 sunt reprezentate în mod grafic valorile corespunzătoare întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap pentru variația numărul de pachete transmise per secundă cu dimensiunea pachetelor în cazul celui de-al doilea set de analize.

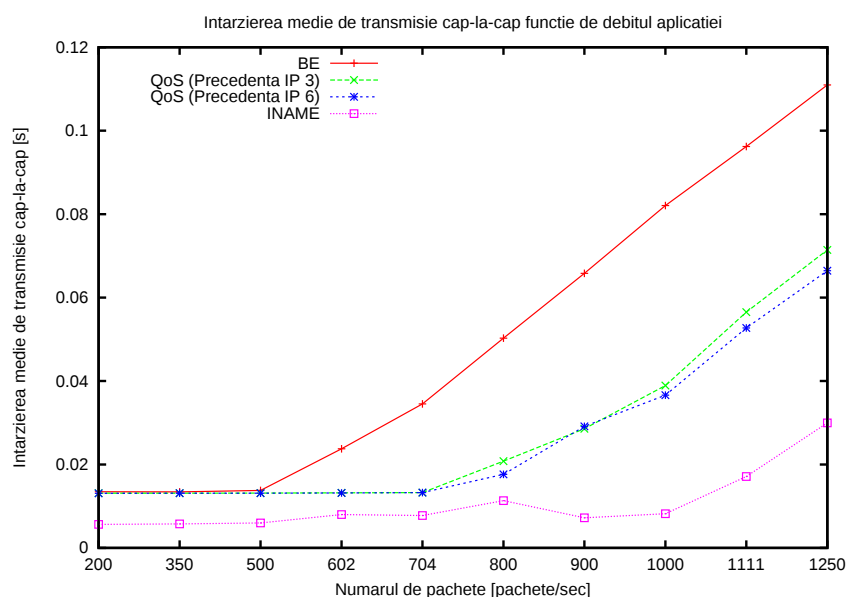


Figura 6.43 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în funcție de numărul de pachete transmise per secundă la valori constante ale dimensiunii pachetului

Pentru suportul oferit în cazul modelului I-NAME, diferența dintre valorile maximă și minimă ale întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap este minimă în comparație cu diferența dintre valorile maximă și minimă ale întârzierilor medii de transmisie ale celorlalte modele suport QoS.

Tabelul 6.23 indică îmbunătățirea adusă de fiecare model raportată la modelul BE pentru valorile diferență ale întârzierilor. Și în acest caz, îmbunătățirea adusă de modelul propus I-NAME în termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap este superioară modelelor suport QoS existente.

Conform datelor prezentate în Tabelul 6.19, prioritatea maximă indicată de ponderile parametrice QoS este alocată parametrului QoS întârziere (DW = 1). Valoarea de prag a întârzierii de transmisie necesară rulării aplicației de test având ca suport modelul I-NAME este de 0.01 [s].

Asemănător situației din scenariul anterior, îmbunătățirile aduse de modelul I-NAME în termeni de asigurare a suportului QoS inter-sistem sunt considerabil mai bune în toate situațiile analizate (conform analizei prezentate în Tabelul 6.23), setul rezultatelor incluse în Anexa 6.7 indicând depășirea valorilor întârzierii medii de transmisie cap-la-cap de prag impuse parametrului QoS întârziere pentru aproximativ 30 % din cazurile în care a fost rulat aplicația de test.

În consecință, și în aceste cazuri, rularea aplicației de test conform algoritmului descris de modelul I-NAME în două faze (prin profilul QoS solicitat și QoS acceptat) nu satisface cerințele minime solicitate, fiind necesară impunerea procedurii de adaptare.

Procedura de adaptare, în contextul analizei efectului variației dimensiunii pachetului asupra întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap pentru valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă, presupune:

- (1) reducerea numărului de pachete transmise per secundă prin creșterea intervalului dintre pachete ($<interval * 2>$) cu menținerea dimensiunii pachetului pentru situațiile în care avem indicată depășirea valorii întârzierii minime solicitate și
- (2) menținerea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap pentru aplicația de test sub valoarea de prag indicată de parametrul QoS întârziere pentru situațiile în care s-a realizat adaptarea debitului aplicației sursă.

Valorile întârzierilor medii de transmise cap-la-cap în cazul modelului I-NAME și a celor obținute în cazul modelului I-NAME cu adaptarea debitului aplicației sursă prin creșterea intervalului dintre pachetele emise, pentru fiecare dintre scenariile de analiză în parte, sunt incluse în Tabelul 6.24. Setul valorilor adaptate conform mecanismului I-NAME este prezentat în Anexa 6.8.

Pentru a da o măsură a câștigului adus de adaptarea debitului aplicației sursă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap în cazul modelul I-NAME, a fost calculat factorul de adaptare definit de Relația 6.10.

$$\text{Factorul de adaptare [\%]} = \left| \frac{(\text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS} - \text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS adaptat})}{\text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS}} \right| \cdot 100 \quad (6.10)$$

În Tabelul 6.24 factorul de adaptare indică modificări ale valorilor întârzierii medii de transmisie cap-la-cap pentru modelul I-NAME cu adaptare și în situațiile în care valoarea de prag a întârzierii solicitate de aplicația de test nu este depășită. Acest lucru apare datorită faptului că mecanismul I-NAME realizează adaptarea debitului aplicației sursă în toate scenariile în care valoarea întârzierii de transmisie solicitată este depășită.

Adaptarea parametrilor transmisiei pentru modelul I-NAME			
Numărul de pachete transmise per secundă [pps]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în cazul modelului I-NAME [s]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în cazul modelului I-NAME cu adaptarea debitului aplicației sursă [s]	Factorul de adaptare [%]
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie nu depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]			
200	0.005627531	0.005592124	0.62
350	0.005760893	0.005616536	2.50
500	0.005969275	0.005790402	2.99
600	0.007985178	0.007725654	3.25
700	0.007762758	0.006675986	13.99
900	0.007206138	0.006576531	8.73
1000	0.008183902	0.007299587	10.80
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]			
800	0.011336089	0.005837028	48.50
1100	0.017107296	0.006677798	60.96
1250	0.029979042	0.007303192	75.63

Tabelul 6.24 Menținerea întârzierii medii de transmisie a aplicației de test sub valoarea de prag solicitată prin adaptarea debitului aplicației sursă

Putem spune astfel că modelul I-NAME nu îmbunătățește doar performanțele aplicației în termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap ci, mai mult, adaptează cerințele aplicației la contextul rețelei prin reducerea debitului aplicației sursă.

Atunci când una din solicitările parametrice QoS nu este satisfăcută, procesul de adaptare presupune rularea algoritmului I-NAME în trei faze (profil QoS solicitat, profil QoS negociat și profil QoS adoptat).

Reprezentarea grafică a câștigului adus prin adaptarea debitului aplicației sursă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap, comparativ cu rularea mecanismului I-NAME fără adaptare, este ilustrată în Figura 6.44.

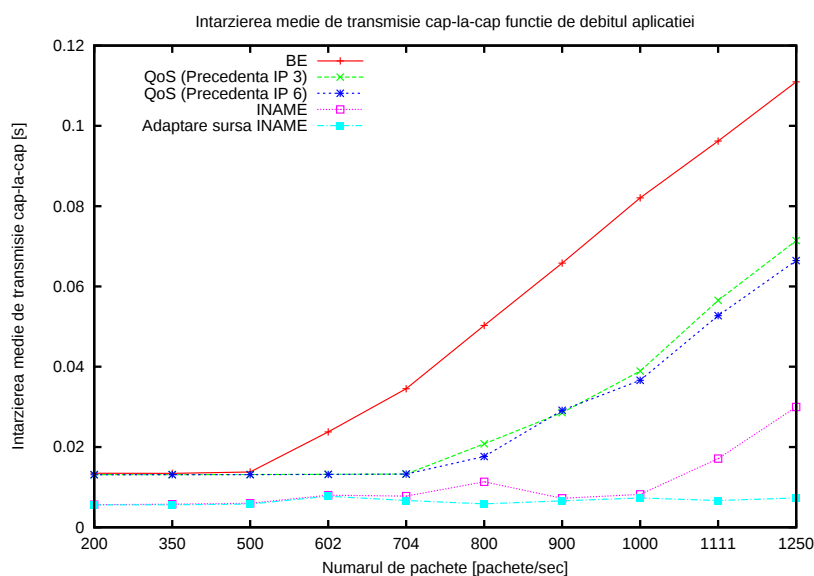


Figura 6.44 Variația întârzierii medii de transmisie cap-la-cap la adaptarea debitului aplicației sursă conform modelului I-NAME rulat în trei faze

Și în cazul acestui set de analize, algoritmul de management integrat al resurselor I-NAME are la bază identificarea nodurilor intermediare pe traseul dintre nodul sursă și nodul destinație și estimarea întârzierilor de transmisie cap-la-cap.

Utilizând mesajele de tip probă la începutul rulării fiecărei aplicații de test în parte, algoritmul I-NAME indică aplicației nodurile selectate în rețea și totodată face o estimare a întârzierilor de transmisie cap-la-cap pe traseul indicat.

Așa după cum a fost descris în prezentarea modelului, mesajele de tip probă au caracteristici de configurare identice structurii aplicației de test (aceeași dimensiune a pachetului și același interval de transmisie între pachete), rețeaua fiind solicitată în condiții similare rulării aplicației date.

Variațiile întârzierilor medii de transmisie asociate modelului I-NAME și erorile de estimare ale întârzierilor de transmisie cap-la-cap, înainte și după aplicarea mecanismului de adaptare al sursei, sunt prezentate în Tabelul 6.25.

Întârzierile medii de transmisie cap-la-cap determinate în cazul modelului I-NAME					
Numărul de pachete transmise per secundă [pps]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap estimată [s]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap măsurată [s]	Eroarea de estimare [%]	Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap măsurată după adaptare [s]	Eroarea de estimare după adaptare [%]
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie nu depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]					
200	0.005515821	0.005627531	1.98	0.005592124	1.36
350	0.005911730	0.005760893	2.61	0.005616536	5.25
500	0.006476598	0.005969275	8.49	0.005790402	11.85
600	0.007079239	0.007985178	11.34	0.007725654	8.36
700	0.006978990	0.007762758	10.09	0.006675986	4.53
900	0.007321152	0.007206138	1.59	0.006576531	11.32
1000	0.006705687	0.008183902	18.06	0.007299587	8.13
Scenariile în care întârzierea medie de transmisie depășește valoarea de prag impusă 0.01 [s]					
800	0.007000030	0.011336089	38.25	0.005837028	19.92
1100	0.006537229	0.017107296	61.78	0.006677798	2.10
1250	0.007354483	0.029979042	75.46	0.007303192	0.70

Tabelul 6.25 Variația întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap (estimate/măsurate înainte și după adaptare) și a erorile de estimare calculate înainte și după adaptarea debitului sursei

Pentru a da o măsură a capacității de estimare a întârzierii medii de transmisie prin algoritmul I-NAME, în raport cu întârzierea medie de transmisie măsurată pe traseul selectat între nodul sursă și nodul destinație, a fost calculată eroarea de estimare definită de Relația 6.11.

La fel ca și în cazul procesului de adaptare prin fragmentare, eroarea de estimare exprimă gradul de aproximare al întârzierii medii de transmisie în raport cu întârzierea medie de transmisie cap-la-cap măsurată pe traseul selectat.

$$\text{Eroarea de estimare } [\%] = \left| \frac{(\text{Întârzierea de transmisie măsurată} - \text{Întârzierea de transmisie estimată})}{\text{Întârzierea de transmisie măsurată}} \right| \cdot 100 \quad (6.11)$$

Prin analiza erorilor determinate, putem observa o bună estimare (prin intermediul mesajelor de tip probă) a întârzierilor de transmisie măsurate, în special pe segmentul în care rularea aplicației de test nu impune adaptarea parametrilor de trafic.

În cazul scenariilor în care întârzierea medie de transmisie depășește valoarea de prag solicitată, valoarea erorilor de estimare a întârzierii medii de transmisie cap-la-cap este redusă semnificativ după introducerea mecanismului de adaptare a debitului sursei, prin reducerea numărului de pachete transmise per secundă. Acest aspect este cunantizat prin eroarea de estimare după adaptare.

În Figura 6.45 este reprezentată în mod grafic variația medie a întârzierilor de transmisie estimate pe baza mesajelor de tip probă și a întârzierilor de transmisie măsurate pentru aplicațiile de test rulate în rețea în cazul variației dimensiunii pachetului cu valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă.

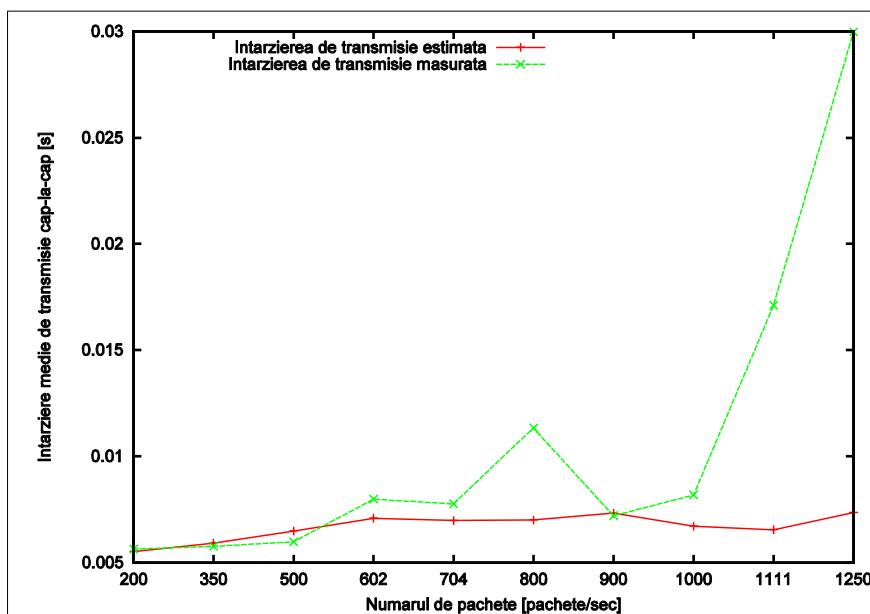


Figura 6.45 Variația întârzierilor de transmisie estimate și măsurate conform mecanismului propus prin modelul I-NAME în cazul variației numărului de pachete transmise per secundă cu valori constante ale dimensiunii pachetului

Analizând ruta fluxului de date transmis pentru fiecare dintre aplicațiile de test rulate, succesiunea nodurilor intermediare pe traseul dintre nodul sursă și nodul destinație este aceeași, atât în cazul rulării aplicației de test cu modelele suport de tip BE, cât și în cazul rulării aplicației cu modelul suport QoS (precedența IP luând valoarea 3 sau 6).

La rularea aplicației cu modelul suport I-NAME, mecanismul implementat determină și confirmă existența unui traseu intermediar între nodul sursă și nodul destinație, traseu ce oferă o adaptare eficientă a cerințelor utilizator la contextul rețelei.

Totodată, selectarea unui traseu alternativ pentru rularea aplicației de test confirmă capacitatea de management a modelului I-NAME printr-o utilizare adecvată și eficientă a resurselor disponibile în rețea.

În Anexele 6.7 și 6.8 sunt indicate traseele alternative selectate de modelul I-NAME, iar în Figura 6.46 sunt ilustrate în mod grafic traseele selectate de aplicația de test pentru fiecare dintre modelele suport QoS în parte.

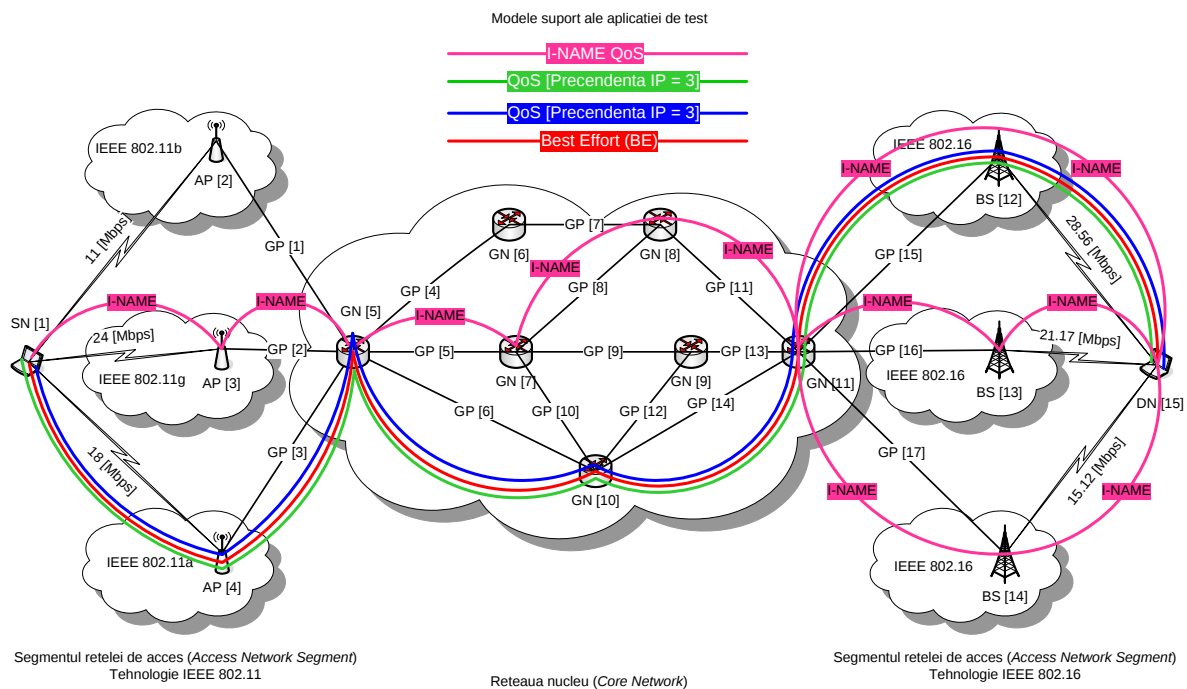


Figura 6.46 Traseul aplicației de test pentru modele suport QoS testate

Traseul selectat în cazul rulării aplicației de test cu suport I-NAME rămâne același în urma procesului de adaptare prin fragmentare. Deoarece doar aplicația este cea care își modifică parametrii de transmisie prin ajustarea corespunzătoare a dimensiunii pachetelor transmise, întârzierea de transmisie pe traseul selectat este menținută în limita parametrilor solicitați.

Din analiza fișierelor de ieșire prezentate în Anexa 6.8, se poate observa faptul că traseul aplicației de test pentru segmentul rețelei de acces implementat în tehnologie IEEE 802.16 se modifică în funcție de dimensiunea pachetului transmis și de numărul de pachete transmise per secundă, implicit în funcție de debitul aplicației.

Astfel, odată cu creșterea dimensiunii pachetului de transmisie și a numărului de pachete transmise pe secundă, aplicația de test va selecta succesiv unul din segmentele de acces în ordinea creșterii capacității canalului de transmisie, funcție de debitul transmisiei.

6.7 I-NAME și concepte NGN

În ansamblul conceptelor asociate abordării NGN (*In-Network Management, Virtual Networks, Network Coding, Cross Layering, Network of Information* etc.), modelul I-NAME poate fi asociat în special cu două dintre acestea:

- (1) *In-Network Management* (INM) și
- (2) *Virtual Network* (VNet).

6.7.1. I-NAME și conceptul In-Network Management (INM)

Există numeroase abordări ale aspectelor managementului în rețea, reprezentative fiind două dintre modele propuse de ITU-T [[itut-web](#)]:

- (1) modelul TMN (*Telecommunications Management Network*) și
- (2) modelul FCAPS (*Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security*).

Modelul TMN a fost introdus de ITU-T prin recomandarea M.3010 [[ITU-M3010](#)] cu scopul de a oferi furnizorilor de servicii un cadru arhitectural de management al serviciilor furnizate în rețea. Modelul abstractizează problema managementului la nivelul a patru straturi:

- (1) fizic (*Physical*);
- (2) funcțional (*Functional*);
- (3) informațional (*Informational*);
- (4) logic (*Logic*).

Prin recomandarea M.3400 [[ITU-M3400](#)], ITU-T a introdus conceptul FCAPS divizând structura stratificată a modelului TMN în cinci seturi de funcționalități cu sub-seturi de funcționalități asociate:

- (1) managementul defectărilor (*Fault Management*) cu: detectarea defectărilor (*fault detection*), corectarea defectărilor (*fault correction*), izolarea defectărilor (*fault isolation*), asigurarea de trasee alternative (*network recovery*); gestionarea alarmelor din sistem (*alarm handling*), gestionarea erorilor (*error handling*);
- (2) managementul configurărilor (*Configuration Management*) cu: inițializarea resurselor (*resource initialization*), asigurarea resurselor în rețea (*network provisioning*), detectarea automată (*auto-discovery*), eliberarea resurselor (*resource shut down*), configurarea distantă (*remote configuration*);
- (3) managementul taxării (*Accounting Management*) cu: contorizarea utilizării resurselor (*track resource usage*), costul serviciilor (*cost for services*), limita de taxare (*accounting limit*), raportarea fraudelor (*fraud reporting*);
- (4) managementul performanței (*Performance Management*) cu: rata erorilor (*error rates*), colectarea statisticilor de calitate (*performance data collection*), analiza statisticilor de calitate (*performance data analysis*), raportarea erorilor (*problem reporting*);
- (5) managementul securității (*Security Management*) cu: confidențialitatea datelor (*data privacy*), accesul selectiv la resurse (*selective resource access*), alarme de securitate (*security alarms*).

Deși ITU-T a dezvoltat modelul FCAPS pentru managementul rețelelor de telecomunicații, ISO a aplicat acest concept și în rețelele de date sub numele de model OSI de management al rețelei (*OSI Network Management Model*).

Problema tuturor acestor abordări tradiționale este faptul că aspectele de management sunt tratate în afara rețelei, prin interacțiunea entității centrale cu entitatea administrată prin intermediul unui protocol de management dedicat.

Conceptul de management integrat al rețelei INM (*In-Network Management*) contrastează abordarea tradițional-centralizată. Caracteristica determinantă în cazul abordării INM este aspectul distribuit al gestionării resurselor, prin atribuirea de funcționalități la nivelul entităților din interiorul rețelei. Astfel, conceptul de management integrat translatează inteligența încapsulată la nivelul unei entități centrale în rețea (*in-network*), integrând funcționalități de management la nivelul nodurilor rețelei [4ward-d4.2].

Sintetizând, printr-un management integrat înțelegem capacitatea rețelei de a se auto-gestiona (*autonomic management*) în mod independent de acțiunea operatorului uman. În felul acesta, problema gestionării resurselor nu mai este una predefinit-centralizată ci este rezolvată după un model distribuit. Resursele disponibile sunt determinate în interiorul rețelei, iar cerințele aplicației sunt adaptate în mod treptat contextului rețelei.

Din perspectiva acestei lucrări, managementul asigurat de modelul I-NAME este unul distribuit. Modelul I-NAME asigură următoarele seturi de funcționalități:

- (1) furnizarea resurselor (*resource provisioning*): prin transmiterea inițială a mesajelor de tip probă, modelul I-NAME estimează contextul rețelei;
- (2) managementul resurselor (*resource management*): prin transmiterea profilelor QoS în mod distribuit în rețea, modelul I-NAME indică ruta către destinație în acord cu cerințele aplicației;
- (3) rezervarea și alocarea resurselor (*resource reservation and allocation*): prin rularea aplicației pe traseul indicat în profilul QoS al căii, modelul I-NAME în conjuncție cu MPLS garantează și alocă resursele în rețea;
- (4) monitorizarea resurselor (*resource monitoring*): prin adaptarea aplicației sursă (adaptare prin fragmentare, codare adaptivă a sursei), modelul I-NAME realizează o inspecție continuă a cerințelor aplicației la capacitatea rețelei.

Din perspectiva autorului, cele cinci seturi de funcționalități reprezintă fazele garantării unui management integrat în rețea, modelul I-NAME furnizând astfel cerințele impuse unui mecanism cu suport QoS inter-domeniu.

6.7.2. I-NAME și conceptul Virtual Network (VNet)

Prin procedura de virtualizare înțelegem o proiecție logică a resurselor din planul fizic al rețelei, numit substrat rețea (*network substrate*), într-un plan virtual al rețelei (*virtual network*) [Ban06] [Hem08].

Problema managementului resurselor este abordată atât în cadrul conceptului INM cât și în cadrul conceptului VNet. În această lucrare, autorul consideră managementul resurselor atașat celor două concepte ca fiind noțiuni complementare:

- (1) din perspectiva VNet, managementul resurselor reprezintă mecanismul de virtualizare al resurselor pentru generarea rețelelor virtuale ce integrează servicii specifice;
- (2) din perspectiva INM, managementul resurselor reprezintă mecanismul de gestionare al resurselor unei aplicații dintr-un plan virtual.

Potrivit modelului de management integrat I-NAME, atât determinarea rutei cât și estimarea întârzierilor pe traseul indicat pot fi considerate ca derulându-se într-un plan de management virtualizat al rețelei VNet (*Virtual Network*).

Astfel, modelul I-NAME operează într-un plan virtual al rețelei, adaptând cererile aplicației sursă la potențialul virtualizat al rețelei.

Dacă mecanismele VNet generează rețelele virtuale agregând aplicații ce au caracteristici comune, mecanismele INM negociază parametri QoS ai fiecărei aplicații în interiorul unei astfel de rețele virtuale.

Operând într-o rețea vitrualizată (*VNet*), pe baza profilelor QoS, modelul I-NAME indică traseul ce asigură întârzierea de transmisie cap-la-cap minimă dintre nodul sursă (*SN*) și nodul destinație (*DN*).

Celelalte modele suport (de tip Best Effort, QoS cu precedență IP = 3 și 6) selectează traseul cap-la-cap în funcție de mecanismele suport caracteristice (vezi Figura 6.47).

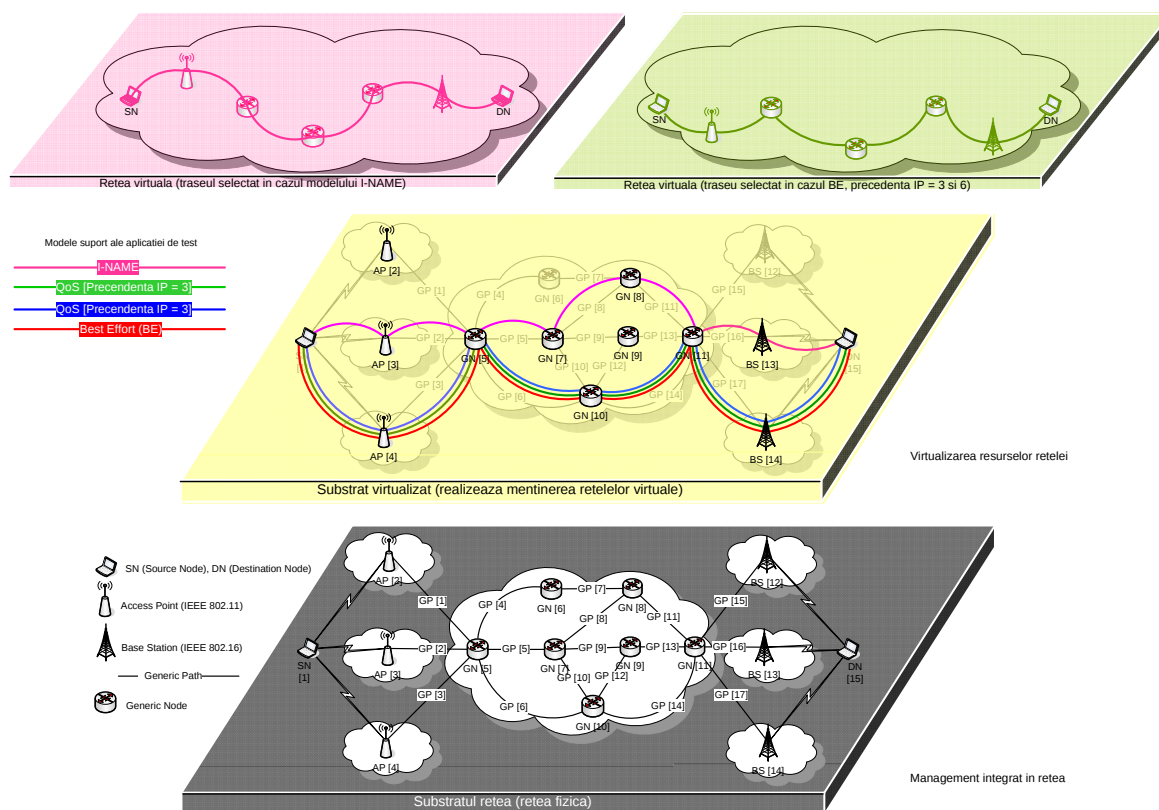


Figura 6.47 Modelul I-NAME, soluție INM și relația cu VNet

Considerând faptul că mai multe rețele virtuale (*VNets*) partajează aceeași topologie fizică (*physical/network substrate*), procesul de virtualizare (sau mapare) implică numai acele entități ale topologiei (noduri și legături ale substratului fizic) selectate prin mecanismele de management al resurselor ca fiind optime serviciilor ce urmează a fi rulate.

6.8 Concluzii

Selectarea celui mai bun traseu până la nodul destinație și asigurarea unei valori a întârzierilor de transmisie cap-la-cap cu adaptarea parametrilor aplicației la variațiile parametrilor din rețea ilustrează capacitatea de management integrat a modelului I-NAME.

Printr-un management integrat al rețelei (*in-network management*) înțelegem capacitatea rețelei de a se auto-gestiona (*autonomic management*) în mod independent de acțiunea operatorului uman. Resursele disponibile în rețea sunt determinate în mod distribuit, iar cerințele aplicației sunt adaptate în mod treptat contextului rețelei.

În acord cu modelul de management integrat I-NAME, atât determinarea rutei cât și estimarea întârzierilor pe traseul indicat pot fi considerate ca derulându-se într-un plan de management virtualizat al rețelei.

Prin procedura de virtualizare se înțelege o proiecție logică a resurselor din planul fizic al rețelei numit substrat rețea (*network substrate*) într-un plan de management virtualizat al rețelei (*virtual network*).

Concluziile capitolului sunt grupate pe două categorii: concluzii generale, ce sintetizează aspecte generice în contextul suportului QoS inter-domeniu și concluzii particulare, ce vizează elemente specifice aduse de modelul I-NAME.

6.8.1. Concluzii generale

Pentru a demonstra capacitatea modelului I-NAME în furnizarea unui suport QoS inter-domeniu, am rulat un set de aplicații de test într-un scenariu cu acces hibrid.

Prin simulare, aplicațiile de test au fost transmise în mod succesiv peste un mediu cu suport de tip Best Effort, apoi peste unul bazat pe clasificări QoS la strat rețea, iar în final suportul QoS inter-domeniu a fost asigurat prin intermediul modelului propus I-NAME.

Au fost realizate următoarele categorii de analize:

- (1) efectul variației dimensiunii pachetului asupra întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap la valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă și
- (2) efectul variației numărului de pachete transmise per secundă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap la valori constante ale dimensiunii pachetului.

Rezultatele obținute au fost analizate în mod comparativ în termeni de:

- (1) capacitate de selectare a unui traseu optim din punct de vedere al specificului aplicației rulate și
- (2) capacitate de asigurare a unei întârzieri medii de transmisie cap-la-cap care să nu depășească o valoare de prag impusă.

În mod independent de suportul QoS oferit în rețea (I-NAME, BE, IP Precedence = 3 sau IP Precedence = 6), valoarea întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap pentru aplicația de test crește odată cu creșterea dimensiunii pachetului și a numărului de pachete transmise per secundă.

Variația întârzierilor medii de transmisie este dependentă de modelul suport oferit aplicației de test în rețea, diferența dintre valorile maximă și minimă ale întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap luând valoarea cea mai mare în cazul modelului suport de tip Best Effort, respectiv cea mai mică în cazul modelului suport I-NAME.

În termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap, la variația dimensiunii pachetului cu valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă, îmbunătățirea adusă de modelul suport I-NAME este de 82.79% în comparație cu modelul de tip Best Effort, în timp ce îmbunătățirile aduse de marcarea traficului prin parametrul precedentă IP 3 și 6 sunt de 40.86%, respectiv 44.08% în comparație cu același model suport de tip Best Effort.

La variația numărului de pachete transmise per secundă cu valori constante ale dimensiunii pachetelor, îmbunătățirea adusă de modelul suport I-NAME este de 75.03%% în comparație cu modelul de tip Best Effort, în timp ce îmbunătățirile aduse de marcarea traficului prin parametrul precedentă IP 3 și 6 sunt de 40.19%, respectiv 45.27% în comparație cu același model suport de tip Best Effort.

Modelele suport pentru aplicațiile de test respectă prioritățile alocate. Astfel, în cazul modelului suport de tip Best Effort, întârzierea medie de transmisie cap-la-cap este cea mai mare și totodată mult mai dependentă de numărul de pachete transmise și de dimensiunea pachetului. În cazul suportului ce se bazează pe clasificările QoS de la stratul rețea (precedență IP = 3 sau 6), prioritățile asociate aplicației de test sunt respectate.

6.8.2. Concluzii particulare

În cazul modelului I-NAME, suportul QoS inter-domeniu este asigurat prin schimbul de mesaje între entitățile vecine, pe segmentele de rețea dintre nodul sursă și nodul destinație.

Prin intermediul profilelor QoS, modelul I-NAME identifică resursele din rețea în acord cu setul de parametri ce descrie cerințele aplicației de test, indicând traseul cu întârzierea medie de transmisie cap-la-cap cea mai apropiată de valoarea de prag impusă.

Rezultatele obținute indică faptul că deși există un traseu alternativ în rețea ce oferă o întârziere medie minimă de transmisie cap-la-cap în raport cu valoarea de prag solicitată, modelele suport existente nu pot identifica acest traseu deoarece nu există un mecanism de asociere a cerințelor aplicației în acord cu potențialul rețelei, așa cum modelul I-NAME o face prin intermediul profilelor QoS.

Ponderile parametrice QoS indicate în cadrul profilelor I-NAME permit o tratare prioritară parametrică a aplicației de test funcție de parametri considerați critici pentru aplicația dată.

În scenariile analizate, prioritatea maximă a reprezentat-o întârzierea medie de transmisie cap-la-cap. Debitul transmisiei și valoarea jitter-ului nu au reprezentat parametri de interes solicitați de aplicația de test.

Pe traseul indicat prin intermediul modelului I-NAME valorile medii ale întârzierilor de transmisie cap-la-cap au un domeniu de variație relativ constant în comparație cu variațiile măsurate pe traseele indicate de celelalte modele suport.

Atunci când cerințele aplicației depășesc capacitatea rețelei, modelul I-NAME propune două modalități de adaptare:

- (1) adaptarea prin fragmentare (prin modificarea dimensiunii pachetului) și
- (2) adaptarea prin codare predictivă (prin modificarea intervalului între pachetele transmise).

Prin funcția de adaptare, modelul I-NAME realizează o redimensionare a parametrilor de transmisie ai aplicației în acord cu specificul rețelei, asigurându-se în felul acesta un management eficient al gestionării și alocării resurselor disponibile.

Măsura gradului de adaptare prin fragmentare cu suport I-NAME este cuantizată prin factorul de adaptare. Acesta indică menținerea întârzierii medii de transmisie a aplicației de test sub valoarea de prag solicitată de aplicația de test.

Performanța I-NAME este evidențiată în primul rând de capacitatea de a indica și de a selecta ruta ce garantează o întârziere de transmisie cap-la-cap minimă, în acord cu cerințele aplicației exprimate în profilele QoS. Procesul de adaptare cu menținerea parametrilor QoS solicitați la modificarea condițiilor în rețea evidențiază în mod suplimentar capacitatea mecanismului propus.

Măsura gradului de aproximare a întârzierii medii de transmisie pe traseul dintre nodul sursă și nodul destinație este exprimată prin eroarea de estimare. Eroarea de estimare indică capacitatea de aproximare a întârzierii medii de transmisie în raport cu întârzierea medie de transmisie măsurată înainte și după adaptare.

Valorile medii ale erorilor de estimare obținute pe baza mesajelor de tip probă dau o măsură a comportamentului aplicației de test în rețea, fiind utilizate în predicția întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap.

Selectarea celui mai bun traseu până la nodul destinație și asigurarea unei valori a întârzierilor de transmisie cap-la-cap cu adaptarea aplicației la variațiile parametrilor din rețea, ilustrează capacitatea de management integrat a modelului I-NAME.

Având la bază specificațiile utilizator asupra serviciilor SLS (*Service Level Specifications*), descrise prin intermediul parametrilor ce alcătuiesc profilele QoS, rețeaua primește cerințele aplicației din nodul sursă.

Prin intermediul modelului I-NAME QoS și a profilelor QoS atașate, rețeaua va trece la examinarea și determinarea unui traseu între sursă și destinație, realizând astfel adaptarea dinamică a cerințelor utilizator din nodul sursă, cu potențialul receptorului din nodul destinație, în acord cu capacitatea infrastructurii de a oferi serviciile la parametri solicitați.

Modelul propus arată cum setul de parametri QoS solicitați este validat pe traseul dintre nodul sursă și nodul destinație, oferind în final un traseu QoS inter-domeniu bazat pe suma constrângerilor entităților ce rulează serviciul peste o arhitectură dată.

Prin specificarea explicită a căii determinate de algoritmul I-NAME, prin intermediul protocolului MPLS se va rezerva calea pe care va fi rulat traficul între entitățile implicate în comunicare.

Capitolul 7

Contribuții la implementarea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații

7.1 Structura capitolului

Capitolul sintetizează contribuțiile tezei și concluziile acestora, rezultatele fiind indicate în fluxul principal al publicațiilor autorului, în rapoartele tehnice ale contractelor de cercetare la care autorul și-a adus contribuția și în referatele de doctorat elaborate.

7.2 Contribuțiile la implementarea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații

Paragraful prezintă principalele contribuții ale tezei și concluziile acestora. Rezultatele sunt regăsite în articolele științifice publicate și volumele unor conferințe, în rapoartele unor granturi și contracte de cercetare.

1. Analizând diferite direcții și abordări, teza dă propria definiție pentru noțiunea de calitate a serviciilor (QoS) ce stă la baza studiilor realizate. Lucrarea definește noțiunea QoS ca fiind acel set de parametri QoS ce caracterizează capacitatea rețelei în vederea satisfacerii cerințelor aplicației. Din perspectiva rețelei, QoS se referă la calitatea sau nivelul serviciului oferit aplicației în termeni de parametri QoS ai rețelei, incluzând: întârzieri, jitter, pachete pierdute și debit (QoS intrinsec). Din perspectiva aplicației/utilizatorului, QoS se referă la calitatea aplicației percepută de utilizator și implică o analiză subiectivă (QoS perceput).

Publicații: [Pus05j], [Pus06a], [Pus07c].

2. S-au dezvoltat două concepte QoS ce presupun integrarea unor elemente de bază în domeniul calității serviciilor, conceptul QoS vertical și conceptul QoS orizontal. Conceptul QoS vertical consideră faptul că soluțiile tehnologice QoS au o arhitectură stratificată în care fiecare strat are un rol determinant în asigurarea suportului QoS cap-la-cap. Conceptul QoS vertical integrează soluțiile QoS intra-domeniu, nivelul QoS atins fiind determinat de capacitatea mecanismelor QoS intra-domeniu de a prelua parametrii QoS de la straturile superioare și de a-i transfera către straturile inferioare ale arhitecturii rețelei. Conceptul QoS orizontal exprimă necesitatea transferării cerințelor QoS între domenii administrative ce implementează soluții tehnologice și protocoale proprietare. Conceptul QoS orizontal este perceput în sensul de model suport QoS inter-domeniu, exprimând necesitatea existenței unui mecanism suport QoS inter-domeniu într-un sistem cu acces hibrid.

Publicații: [Pus05e], [Pal05f] [Pus06a], [Pus07e], [broad-d8].

3. S-au studiat și clasificat mecanismele și serviciile QoS în rețelele de telecomunicații, punând în evidență parametrii QoS ai rețelei și cerințele QoS ale aplicației. Mecanismele QoS analizate localizează suportul QoS la sistemul terminal sau în cadrul rețelei. Asigurarea suportului QoS la sistemul terminal include: controlul debitului la sursă, adaptarea ratei de transfer, controlul pachetelor eronate și retransmisiile. Asigurarea suportului QoS în cadrul rețelei are la bază monitorizarea parametrilor QoS prin mecanisme de control al traficului, cum ar fi controlul accesului, politicile de trafic, clasificarea și ordonarea. Dintre acestea, cele mai notabile sunt: modelul cu servicii integrate, modelul cu servicii diferențiate, comutația multiprotocol pe bază de etichete, ingineria traficului și constrângerile de rutare.

Publicații: [Pal05f], [Pus07e], [cnscis-td520].

4. Determinarea specificului mecanismelor QoS intra-domeniu în rețele cu acces radio. Asigurarea unui suport QoS intra-domeniu în rețelele cu acces radio este o chestiune complexă. Limitările impuse de capacitatea canalului, variația condițiilor de pe canalul radio cât și cerințele QoS definite la nivelul interfeței radio fac problema garantării suportului QoS extrem de laborioasă. Studiul mecanismelor QoS particulare rețelelor satelitare în standard DVB-RCS, al rețelelor WiMAX în standard IEEE 802.16 și al rețelelor WiFi în standard IEEE 802.11 au arătat că asigurarea suportului QoS cap-la-cap necesită preluarea parametrilor QoS de la straturile superioare și transferarea lor către straturile inferioare ale arhitecturii rețelei.

Publicații: [Pus05r2], [Pal08d], [Cri08b], [Cri08h], [Cri07a], [Pus07d], [cnscis-td520], [broad-d8].

5. Analizarea și evaluarea performanței mecanismelor QoS intra-domeniu în termeni de parametri QoS (întârzierea de transmisie cap-la-cap, jitter-ul, debitul de transmisie, încărcarea rețelei, numărul cumulat de pachete pierdute) prin simulare cu ns-2 și qulanet. Cum fiecare strat își aduce contribuția la nivelul QoS oferit, analiza mecanismelor QoS intra-domeniu presupune extragerea și evaluarea parametrilor QoS specifici la nivelul fiecărui strat al rețelei conform conceptului QoS vertical. Rezultatele obținute oferă o analiză a parametrilor QoS la nivelul a patru straturi. Evaluarea parametrilor QoS la nivel de strat control al accesului la mediu indică faptul că mecanismele cu suport QoS de tip EDCF și EDCA asigură o bună diferențiere a serviciilor în comparație cu mecanismul original DCF, cresc eficiența transmisiei, iar mecanismele de ordonare a traficului oferă oportunități de transmisie aplicațiilor marcate prioritar. Evaluarea performanței protocoalelor de rutare în mediile cu transmisie radio, prin analiza parametrică a numărului de pachete de rutare transmise și determinarea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap funcție de protocolul selectat, pune în evidență încărcarea introdusă la nivel de strat rețea de protocoalele de rutare. Evaluarea performanței protocoalelor de transport în mediile cu transmisie radio ilustrează dependența parametrică a tipului aplicației de protocoalele de pe strat transport. Evaluarea performanței protocolului SIP prezintă o modalitate de asigurare a suportului QoS la nivel de strat aplicație.

Publicații: [Pus04b], [Pus05r1], [Pus05a], [Pus05b], [Pus05e], [Pus05h], [Pus06d], [broad-d8].

6. Identificarea cerințelor unui mecanism QoS inter-domeniu într-o arhitectură cu acces hibrid. Impunerea unei priorități statice intra-domeniu în nodul sursă de tip precedentă IP la nivel de strat rețea sau categorie de acces AC la nivel de strat legături de date, fără a considera însă contextul rețelei, poate duce la o utilizare inefficientă a resurselor disponibile.

Mecanismele QoS intra-domeniu asigură un suport QoS cap-la-cap în interiorul unui domeniu administrativ, dar la interconectarea unor domenii administrative ce implementează mecanisme QoS diferite, problema garantării suportului QoS devine critică. Intuim necesitatea translatării mecanismelor intra-domeniu de management al resurselor într-un spațiu de tratare unitară a cerințelor utilizatorului și al contextului rețelei, într-un plan numit plan de management intrinsec al rețelei. Cum cerințele aplicației cât și suportul pentru resursele rețelei pot varia în timp, pentru asigurarea unui QoS inter-domeniu este necesară implementarea unui mecanism de management integrat care să realizeze alocarea adaptivă a resurselor aplicației și dirijarea adaptivă a aplicațiilor funcție de disponibilitatea resurselor în rețea.

Publicații: [Pus07r3], [Pus07c], [Pal08a], [Pus08e], [Pus08c].

7. Proiectarea și testarea performanței modelului QoS inter-domeniu utilizând agenți mobili. Ideea unui sistem centralizat unic ce deține controlul utilizatorilor și resurselor nu răspunde cerințelor actuale ale unei entități localizate într-un sistem wireless heterogen. Colectarea în mod distribuit a informațiilor despre contextul rețelei utilizând agenții mobili este evaluată în arhitecturi cu acces hibrid de tip WLAN – satelitar, respectiv WLAN – UMTS. Evaluarea performanței mecanismul de management QoS al resurselor cu ajutorul agenților mobili a pus în evidență capacitatea modelului de a selecta cel mai bun traseu QoS pe baza întârzierilor de transmisie cap-la-cap. Modelul QoS inter-domeniu utilizând agenții mobili întrunește cerințele impuse unui model de management inter-domeniu și demonstrează posibilitatea utilizării agenților mobili în managementul QoS al resurselor.

Publicații: [Pus06b], [Pus06e], [Pus08f], [cncsis-td520].

8. Proiectarea și implementarea modelului I-NAME de asigurare a suportului QoS inter-domeniu în simulatorul de rețele qualnet. Conjunctia dintre constrângerile aplicațiilor din nodul sursă și cunoașterea parametrilor ce caracterizează contextul rețelei este realizată prin intermediul profilelor QoS ale modelului I-NAME și reprezintă elementul caracteristic al modelului cu suport QoS inter-domeniu propus. Mecanismul include descrierea profilelor QoS, a setului de parametri QoS cu ponderile parametrice asociate și a fluxului mesajelor transmise între nodurile rețelei. Prin intermediul profilelor QoS, modelul I-NAME identifică resursele din rețea în acord cu setul de parametri ce descriu cerințele aplicației. Ponderile parametrice QoS indicate în cadrul profilelor I-NAME permit o tratare prioritară parametrică a aplicației funcție de parametri considerați critici pentru serviciul dat. Atunci când cerințele aplicației depășesc capacitatea rețelei, modelul I-NAME propune două modalități de adaptare: adaptarea prin fragmentare (prin modificarea dimensiunii pachetului) și adaptarea prin codare predictivă (prin modificarea intervalului între pachetele transmise). Prin funcția de adaptare, modelul I-NAME realizează o redimensionare a parametrilor de transmisie ai aplicației în acord cu specificul rețelei, asigurându-se în felul acesta un management eficient al gestionării și alocării resurselor disponibile.

Publicații: [4ward-d4.2]

9. Evaluarea și validarea modelului I-NAME. Pentru a demonstra capacitatea modelului I-NAME în furnizarea unui suport QoS inter-domeniu, a fost rulat un set de aplicații de test într-un scenariu cu acces hibrid. Prin simulare, aplicațiile de test au fost transmise în mod succesiv peste un mediu cu suport de tip Best Effort, apoi peste unul bazat pe clasificări QoS la strat rețea, iar în final suportul QoS inter-domeniu a fost asigurat prin intermediul modelului propus I-NAME. Au fost realizate următoarele categorii de analize: efectul variației dimensiunii pachetului asupra întârzierilor medii de transmisie cap-la-cap la valori

constante ale numărului de pachete transmise per secundă și efectul variației numărului de pachete transmise per secundă asupra întârzierii medii de transmisie cap-la-cap la valori constante ale dimensiunii pachetului. Selectarea celui mai bun traseu până la nodul destinație cu asigurarea unei valori a întârzierilor de transmisie cap-la-cap impuse de aplicația sursă, identificarea modificărilor în rețea cu păstrarea setului de valori de prag inițial solicitate și adaptarea sursei în mod treptat la caracterul dinamic al rețelei prin fragmentare și codare adaptivă, reprezintă criteriile de evaluare ale modelului I-NAME. Rezultatele obținute indică faptul că deși există un traseu alternativ în rețea ce oferă o întârziere medie minimă de transmisie cap-la-cap în raport cu valoarea de prag solicitată, modelele suport existente nu pot identifica acest traseu deoarece nu există un mecanism de asociere a cerințelor aplicației în acord cu potențialul rețelei, așa cum modelul I-NAME o face prin intermediul profilelor QoS.

Publicații: [4ward-d4.2]

10. Îmbunătățirile aduse de modelul I-NAME în contextul QoS inter-domeniu. În termeni de întârziere medie de transmisie cap-la-cap, la variația dimensiunii pachetului cu valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă, îmbunătățirea adusă de modelul suport I-NAME este de 82.79% în comparație cu modelul de tip Best Effort, în timp ce îmbunătățirile aduse de marcarea traficului prin parametrul precedentă IP 3 și 6 sunt de 40.86%, respectiv 44.08% în comparație cu același model suport de tip Best Effort. La variația numărului de pachete transmise per secundă cu valori constante ale dimensiunii pachetelor, îmbunătățirea adusă de modelul suport I-NAME este de 75.03%% în comparație cu modelul de tip Best Effort, în timp ce îmbunătățirile aduse de marcarea traficului prin parametrul precedentă IP 3 și 6 sunt de 40.19%, respectiv 45.27% în comparație cu același model suport de tip Best Effort. Măsura gradului de adaptare prin fragmentare cu suport I-NAME este cuantizată prin factorul de adaptare. Deși prin comparație cu suportul oferit de celelalte modele, îmbunătățirile aduse de modelul I-NAME în termeni de asigurare a suportului QoS inter-sistem sunt considerabil mai bune, factorul de adaptare indică depășirea valorilor de prag impuse parametrului întârziere în cazul primului set de analize pentru 40% din scenariile analizate, iar în cazul celui de-al doilea set de analize pentru aproximativ 30% din scenariile analizate. Prin aplicarea funcției de adaptare, modelul I-NAME realizează o redimensionare a parametrilor de transmisie, menținând cerințele parametrice ale aplicației în limitele valorilor de prag impuse.

Publicații: [4ward-d4.2]

7.3 Premii obținute

1. **Premiul Best Paper**, cu lucrarea *Intra-System Mobility Evaluation for Different Wireless Technologies*, ICWMC 2006, Iulie 2006, București.
http://users.utcluj.ro/~pemanuel/premii/Emanuel%20Puschita_ICW06%20Award.pdf
2. **Premiul de excelență Dan Roman pentru tinerii cercetători**, Forumul Academic al Universității Tehnice din Cluj-Napoca, 30 Ianuarie 2007, Cluj-Napoca.
http://users.utcluj.ro/~pemanuel/premii/Emanuel%20Puschita_Premiul%20de%20Excelenta_Dan%20Roman.pdf
3. **Lucrare premiată CNCISIS**, Evaluation of Adaptive Radio Techniques for the under-11GHz Broadband Wireless Access (co-autor), Octombrie 2008, București.
http://www.cncsis.ro/PN2_res_umana_prem_articole_2008.php

7.4 Fluxul principal al publicațiilor autorului citate în teză

Articole publicate în volumele unor manifestări naționale

1. [Pus04b] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *Performance Evaluation of Routing Protocols in Ad-Hoc Wireless Networks, ETc2004*, Timișoara, RO, Octombrie 2004, Tomul 49(63), Fascicola 1, ISSN 1583-3380, pp. 352 – 357.
2. [Pal05f] Palade, T., Crișan, N., **Pușchiță, E.**, Chira, L., *Broadband Services for Everyone over Fixed Wireless Access Networks*, *Acta Tehnica Napocensis*, Cluj-Napoca, RO, Vol. 46, Nr. 1/2005, ISSN: 1221-6542, pp. 48-49.
3. [Pus06f] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Pop, B., Sandu, F., “Mobility Mechanisms for Mobile/Wireless all-IP Networks”, *Symposium of Electronics and Telecommunications - ETc '06*, Timișoara, RO, 2006, Tom 51 (65), Fascicola 2, ISSN 1583-3380, pp.103-108.
4. [Pus07c] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *Perspectives, Evaluation and Enhancements on Quality of Services for Wireless Networks*, *Lucrările sesiunii de comunicări științifice Doctor Etc 2007*, Timișoara, RO, Septembrie 20, 2007, ISBN 978-073-625-494-9, pp. 34-39.

Articole publicate în volumele unor manifestări internaționale

5. [Pus05a] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Chira, L., Hăbălău, C., *Study of Medium Access Techniques in Wireless LAN Scenarios*, The 36-th International Scientific Symposium of METRA, Proceedings Volum 1/2, București, RO, Mai 2005, ISBN: 973-0-03923-2, pp. 550 – 555.
6. [Pus05b] Palade, T., **Pușchiță, E.**, Chira, L., Cărunțu, A., *Network Simulator, a Simulation Tool for Wireless LANs: Facilities, Enhancements, Capabilities*, *The 36-th International Scientific Symposium of METRA*, Proceedings Volume 1/2, București, RO, Mai 2005, ISBN: 973-0-03923-2, pp. 556 – 561.
7. [Pus05e] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *Wireless LAN Medium Access Techniques: QoS Perspective*, The 7th International Symposium on Signals, Circuits and Systems ISSCS 2005, Iulie 14-15, 2005, Iași, RO, IEEE Catalog Number 05EX1038, ISBN 0-7803-9029-6, Volum 1/2, pp. 267 – 270.
8. [Pal05f] Palade, T., Crișan, N., **Pușchiță, E.**, Chira, L., *Broadband Services for Everyone over Fixed Wireless Access Networks*, *Acta Tehnica Napocensis*, Cluj-Napoca, RO, Vol. 46, Nr. 1/2005, ISSN: 1221-6542, pp. 48 – 49.
9. [Pus05h] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Chira, L., *Performance Evaluation of DCF vs. EDCF Data Link Layer Access Mechanisms for Wireless LAN Scenarios: QoS Perspective*, 7th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services – TELSIKS'05, Septembrie 28-30, 2005, Niș, SE, IEEE Catalog Number 05EX1072, ISBN 0-7803-9164-0, Volume 2/2, pp. 356-359.
10. [Pus06b] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Cărunțu, A., Todorean, G., *On the use of Intelligent Agent in a Wireless Environment*, The 36-th International Scientific Symposium of METRA, București, RO, Mai 2006, ISBN-10: 973-0-04429-5 ISBN-13: 978-973-0-04429-4.
11. [Pus06d] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Sandu, F., *Intra-System Mobility Evaluation for Different Wireless Technologies*, 2006 International Conference on Wireless and Mobile Communications – ICWMC 2006, București, RO, Iulie 2006, IEEE Computer Society Order Number E2629, ISBN 0-7695-2629-2.

12. [Pus06e] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Caruntu, A., *Design of a Resource Reservation Model for a Hybrid Wireless Network Architecture based on the use of Intelligent Mobile Agents*, International Conference on Systems Engineering, ICSE 2006, Coventry, UK, Septembrie 2006 ISBN 1-84600-013-0, pp. 383 – 387.
13. [Cri07a] Crișan, N., Cremene, L., **Pușchiță, E.**, *FEC Performance Analysis for the under-11GHz 802.16 SC Specifications*, 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Budapest, HU, 01-05 Iulie, 2007, ISBN 978-963-8111-66-1, IEEE Catalog Number: 07EX1670C.
14. [Pus07c] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *Perspectives, Evaluation and Enhancements on Quality of Services for Wireless Networks*, Lucrările sesiunii de comunicări științifice Doctor Etc 2007, Timișoara, RO, Septembrie 2007, ISBN 978-073-625-494-9, pp. 34 – 39.
15. [Pus07d] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *Performance Comparison on the Last-Mile Access Segment for Different Wireless Technologies*, 6-th International Conference RoEduNet 2007, Craiova, RO, Noiembrie 23-24, 2007, ISBN 978-973-746-581-8, pp. 98-102.
16. [Pus07e] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *QoS Reservation Mechanism for Broadband Hybrid Wireless Access*, The 13th International Conference “Nicolae Bălcescu” Land Forces Academy, Sibiu, RO, Noiembrie 2007, Conference proceedings 10, ISSN 1843-6722, pp. 76-83.
17. [Pal08a] Palade, T., **Pușchiță, E.**, *Requirements for a New Resource Reservation Model in Hybrid Access Wireless Network*, WSEAS TRANSACTIONS on COMMUNICATIONS, Issue 3, Volumul 7, Martie 2008, ISSN: 1109-2742, pp. 144 – 151.
18. [Cri08b] Crișan, N., Cremene, L., **Pușchiță, E.**, Palade, T., *Evaluation of Adaptive Radio Techniques for the under-11GHz Broadband Wireless Access*, The IEEE 2nd International Conference on Computers, Communications & Control (ICCCC 2008), May 15-17, 2008, Oradea, RO, Volumul III, ISSN 1841-9836, pp. 232 – 237.
19. [Pus08c] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Moldovan, A., Trifan, S., *A Proposed QoS Reservation Mechanism for Broadband Hybrid Wireless Access*, ICT Mobile and Wireless Communications Summit (ICT-MobileSummit 2008), Stockholm, SW, Iunie 2008, ISBN: 978-1-905824-08-3.
20. [Pal08d] Palade, T., **Pușchiță, E.**, Bogdan, I., *Performance Evaluation of Wireless Systems implementing IEEE 802.16 Standard*, The 12th WSEAS International Conference on COMMUNICATIONS, Heraklion, GR, Iulie 2008.
21. [Pus08e] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *An Overview of Intra-Domain QoS Mechanisms Evaluation*, Timișoara, RO, Tom 52(66), Fascicola 2, 2008, pp. 58-64.
22. [Pus08f] **Pușchiță E.**, Palade, T., Frank-Uwe Andersen, *A Mechanism for QoS Path Selection in a WLAN-UMTS Scenario: Mobile Agent Approach*, 7th WSWAS International Conference on DATA NETWORKS, COMMUNICATIONS, and COMPUTERS (DNCOCO'08), București, RO, Noiembrie 2008, pp. 91-97, ISSN: 1790-5109, ISBN: 978-960-474-020-8.
23. [Cri08h] Crișan, N., Cremene, L., **Pușchiță, E.**, Palade, T., *Spectral efficiency Improvement for the under-11GHz Broadband Wireless Access*, The 15th International Conference on Telecommunications - ICT 2008 IEEE, St. Petersburg, RU, DOI10.1109/ICTEL.2008.4652707.

Lucrările susținute la workshop-uri organizate în cadrul proiectelor de cercetare

24. [Pus06a] **Pușchiță, E.**, *Quality of Service issues in Wireless Broadband Access Networks*, BROADWAN FP6 Project Workshop, Cluj-Napoca, RO, Mai 2006.
25. [Pus05j] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *QoS Perspective for Wireless Scenarios*, BroadBand Europe 2005 Workshop, QoS & Security Session, Bordeaux, FR, Decembrie 2006.

Lucrări în afara scopului tezei

26. [Pus03a] **Pușchiță, E.**, Palade, T., Szekely, M., *Characteristics of the WCDMA Downlink Channel*, Proceedings of SympoTIC' 2003, Bratislava, SK, IEEE Catalog Number: 03EX727, ISBN: 0-7803-7993-4, Octombrie 2003, pp 55 – 58.
27. [Chi05i] Chira, L., Palade, T., **Pușchiță, E.**, Dumitrean, R., *Performance Analysis of Spatial Diversity Schemes on an 802.11 a PHY Platform*, 7th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services – TELSIKS'05, Septembrie 2005, Niș, SE, IEEE Catalog Number 05EX1072, ISBN 0-7803-9164-0, Volume 1/2, pp. 101 – 104.
28. [Car06c] Căruntu, A., Nica, A., Todorean, G., **Pușchiță, E.**, Buza, O., *An Improved Method for Automatic Classification of Speech*, IEEE-TTTC International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics - AQTR 2006, Cluj-Napoca, RO, Mai 2006, IEEE Catalog Number: 06EX1370, ISBN: 1-4244-0360-X, TOME I, pp. 448 – 451.
29. [Chi05c] Chira, L., Palade, T., **Pușchiță, E.**, *Performance Improvements of an 802.11a PHY Using Multiple-Antenna Systems*, The 36-th International Scientific Symposium of METRA, Proceedings Volume 1/2, București, RO, Mai 2005, ISBN: 973-0-03923-2, pp. 1 – 6.
30. [Chi05d] Chira, L., Palade, T., **Pușchiță, E.**, “Analysis of Future Solutions for Broadband Fixed Wireless Communication Systems”, The 36th International Scientific Symposium of METRA, Proceedings Volume 1/2, București, RO, Mai 2005, ISBN: 973-0-03923-2, pp. 538 – 543.
31. [Pal05g] Palade, T., **Pușchiță, E.**, Crișan, N., *Radio Frequency Radiation Safety and Health*, The 11th International Symposium for Design And Technology of Electronic Modules - SIITME 2005, Septembrie 2005, Cluj-Napoca, RO, ISBN: 973-718-307-X, pp. 30 – 34.
32. [Uil06g] Uilecan, V., Trestian, I., **Pușchiță, E.**, *Mobility Analysis of the DSR Protocol in IEEE 802.11 Networks*, Novice Insights in Electronics, Communications and Information Technology, Cluj-Napoca, RO, Issue 1, 2006, ISSN 1842-6085, pp. 9-12.
33. [Pop06h] Pop, B., **Pușchiță, E.**, *Mobility Analysis on Different System Architectures*, Novice Insights in Electronics, Communications and Information Technology, Cluj-Napoca, RO, Issue 1, 2006, ISSN 1842-6085, pp. 37-40.
34. [Pus07f] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *CWNP Wireless Training and Certification Program*, The 13th International Conference “Nicolae Bălcescu” Land Forces Academy, Sibiu, RO, Noiembrie 2007, Conference proceedings 7, ISSN 1843-6722, pp. 116 – 118.

7.5 Rapoartele de cercetare predate în cadrul unor contracte (editor/co-autor)

1. [cncsis-td520] **Pușchiță, E.**, (editor) *Proiectarea și evaluarea unui mecanism QoS inter-domeniu într-o arhitectură wireless IP cu acces hibrid folosind agenți mobili*, Raport de cercetare, Grant CNCISIS TD 520/2007, Martie 2009;
<http://www.cncsis.ro>
2. [broad-d8] Hirtzlin, P., **Pușchiță, E.**, (co-autor) T. Palade, T., et al. D. Salazar, J. Sesena, G. Smedback, R. Pringle, R. Worrall, J. Stafford, G.F. Vezzani, C. Monti, M. Schmidt, L. Garcia, *Recommendations on matching hybrid wireless network technologies to deployment scenarios*, FP6-ICT-2003-001930, BROADWAN/D8, Octombrie 2004;
http://www.telenor.no/broadwan/publ/BROADWAN_Deliverable_%20D8_hybridtechnologies.pdf
3. [4ward-d4.2] Parteneri DT, EAB Fraunhofer, KTH, NEC, NSND, PTIN, SICS, SROM Technion, TPSA, TSSG, TUCN (**Pușchiță, E.**) (co-autor), *In-Network Management Concept*, Public document number FP7-ICT-2007-1-216041, 4WARD/D-4.2, Februarie 2009;
<http://www.4ward-project.eu/index.php?id=64>

7.6 Referatele de doctorat

1. [Pus05r1] **Pușchiță, E.**, *Facilități QoS pentru SIP folosind protocolul COPS*, Referat I doctorat, Conducător științific Prof. Dr. Ing. Palade, T., Comisie: Prof. Dr. Ing. Todorean, G., Prof. Dr. Ing. Lupu, E., Prof. Dr. Ing. Vaida, M., Prof. Dr. Ing. Rusu, C., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2005, 19 Iulie.
2. [Pus05r2] **Pușchiță, E.**, *Mecanisme pentru asigurarea calității serviciilor în sisteme wireless*, Referat II doctorat, Conducător științific Prof. Dr. Ing. Palade, T., Comisie: Prof. Dr. Ing. Todorean, G., Prof. Dr. Ing. Lupu, E., Prof. Dr. Ing. Vaida, M., Prof. Dr. Ing. Rusu, C., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2005, 09 Decembrie.
3. [Pus07r3] **Pușchiță, E.**, *QoS în sistemele de acces radio de bandă largă*, Referat III doctorat, Conducător științific Prof. Dr. Ing. Palade, T., Comisie: Prof. Dr. Ing. Todorean, G., Prof. Dr. Ing. Lupu, E., Prof. Dr. Ing. Rusu, C., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2007, 11 Septembrie.

7.7 Participare în contracte de cercetare

Contracte naționale de cercetare științifică

1. [siemens-05] **Pușchiță, E.**, (coordonator) *Intra-system Mobility for Dedicated Voice and Data Networks*, Contract 624/01.04.2005, Beneficiar: Siemens PSE SRL Brasov, 2005, 01 Octombrie - 2006, 30 Ianuarie (faza 1).
2. [siemens-06] **Pușchiță, E.**, (coordonator) *Study of Mobile Agents in Telecommunications Networks*, Contract 624/01.04.2005, Beneficiar: Siemens PSE SRL Brasov, 2006, 01 Februarie - 2006, 30 Aprilie (faza 2).

Granturi de cercetare naționale

3. [hotsat-05] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Hotspoturi care integrează puncte de acces la satelit destinate comunităților isolate - HOTSAT*, Contract CEEEX 6107/2005, 2005 – 2008, Decembrie 2005.
4. [cncsis-928] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Asigurarea accesului radio de bandă largă pentru utilizatorii rezidențiali folosind tehnologiile wireless de cost redus*, Proiect CNCISIS 928/2005, Decembrie 2005.
5. [ursa-07] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Stație de urmărire radio spațială adâncă cu utilizări multiple – URSA*, PN2 Parteneriate, 81004/2007, 2007 – 2010, Septembrie 2007.
6. [smant-07] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Noi algoritmi pentru antene adaptive/inteligente în sisteme de comunicații 3G și post - 3G – SMANT*, PN2 Parteneriate 11-026/2007, Septembrie 2007.
7. [pabmar-07] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Platforma wireless integrată de acces local pentru bandă largă și mobilitate, cu autoorganizarea resurselor - PABMAR*, Contract de finanțare 11-021/2007, 2007 – 2010, Septembrie 2007.
8. [cncsis-221] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Analiza și identificarea de soluții hibride pentru asigurarea accesului de bandă largă*, Plan sectorial - MCTI, UT-Cluj partener, Contract de finanțare 22-1/2008, 2008-2009.
9. [cosmos-07] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Platforma de comunicații spațiale mobile în banda S – COSMOS*, PN 2 Inovare, Contract de finanțare 86/2007, 2007 – 2010, Septembrie 2007.
10. [pn2-08] Palade, T. (coordonator), **Pușchiță, E.** (membru), *Rețea virtuală IT&C pentru unități de învățământ și cercetare dispersate geografic*, PN 2 Parteneriate, Contract de finanțare 2-097/2008, 2008 - 2011.

7.8 Lucrări indexate în baze de date

1. [Pus03a] - (prim-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
2. [Pus05h] - (prim-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
3. [Pus05e] - (prim-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
4. [Chi05i] - (co-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
5. [Car06c] - (co-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
6. [Pus06d] - (prim-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
7. [Cri07a] - (co-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
8. [Cri08b] - (co-autor) lucrare indexată *ISI Thomson Reuters Web of Science*
9. [Cri08h] - (co-autor) lucrare indexată *IEEE Xplore, ISI Web of Knowledge*
10. [Pus08f] - (prim-autor) lucrare indexată *ISI Web of Knowledge*
11. [Pal08a] - (co-autor) lucrare indexată *ISI Web of Knowledge*

7.9 Lucrări apărute în reviste jurnal

1. [Pus08f] - **Pușchiță, E.**, (prim-autor) lucrare apărută în *WSEAS International Journal of Communications*, Decembrie 2008.
2. [Pal08a] - **Pușchiță, E.**, (co-autor) lucrare apărută în *International Journal of Communications*, NAUN Publishing House, Decembrie 2008.

3. [Pus08e] - **Pușchiță, E.**, (prim-autor) lucrare apărută în ***Transaction on Electronics and Communications***, Buletinul Științific al Universității "Politehnica" din Timișoara, 2008.

Referințe bibliografice indicate în lucrare

Articole științifice

- [Xia99] Xiao, X., Ni, L. M., *Internet QoS: a big picture*, IEEE Network, Volumul 13, Numărul 2, Aprilie 1999, pp. 8-18.
- [Sal00] Sallabi, F., Karmouch, A., et al., *Network domain agency for QoS management in OSPF configured networks*, Hermes Science Publications, 2000, pp. 19-38.
- [Ber00] Y. Bernet, Y., *The Complementary Roles of RSVP and Differentiated Services in the Full-Service QoS Network*, IEEE Communications Magazine, Februarie 2000, pp. 30-36.
- [Eic00] Eichler, G., Hussmann, H., Mamais, G., Venieris, I., Prehofer, C., Stefano Salsano, S., *Implementing Integrated and Differentiated Services for the Internet with ATM Networks: A Practical Approach*, IEEE Communications Magazine, Ianuarie 2000, pp. 132-141.
- [Ekl02] Eklund, C., Marks, R. B., Standwood, K. L., Wang, S. *IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access*, IEEE Communication Magazine, Iunie 2002, pp. 98 – 107.
- [Gio03] Giordano, S., Salsano, S., Ventre, G., Giannakopoulos, D., *Advanced QoS Provisioning in IP Networks: The European Premium IP Projects*, IEEE Communications Magazine, Ianuarie 2003, pp. 30-36.
- [Kim03] Kim, M.; Nam, K.; Lee, J.; Hwang-Soo Lee, *A Case Study of Policy-based QoS Management in 3G Networks*, Vehicular Technology Conference (VTC 2003), the 57th IEEE Semiannual Volume 4, Aprilie 2003, pp. 2755 - 2759.
- [Eng03] Engel, T., Granzer, H., Koch, B.F., Winter, M., Sampatakis, P., Venieris, I.S., Hussmann, H., Ricciato, F., Salsano, S., *AQUILA: adaptive resource control for QoS using an IP-based layered architecture*, IEEE Communications Magazine, Volumul 41, Numarul 1, Ianuarie 2003, pp. 46-53.
- [Cor03] Cortese, G., Fiutem, R., Cremonese, P., D'antonio, S., Esposito, M., Romano, S.P., Diaconescu, A., *Cadenus: creation and deployment of end-user services in premium IP networks*, IEEE Communications Magazine Volume 41, Issue 1, Ianuarie 2003, pp. 54 – 60.
- [Myk03] Mykoniati, E., Charalampous, C., Georgatsos, P., Damilatis, T., Goderis, D., Trimintzios, P., Pavlou, G., Griffin, D., *Admission control for providing QoS in DiffServ IP networks: the TEQUILA approach*, IEEE Communications Magazine, Volume 41, Issue 1, Ianuarie 2003, pp. 38 – 44.
- [Tri03] Trimintzios, P., Pavlou, G., Flegkas, P., Georgatsos, P., Asgari, A., Mykoniati, E., *Service-Driven Traffic Engineering for Intradomain Quality of Service Management*", IEEE Network Magazine, Volumul 17, No. 3, Mai 2003, pp. 29 – 36.
- [Goz03] Gozdecki, J. Jajszczyk, A., Stankiewicz, R., *Quality of service terminology in IP networks*, IEEE Communications Magazine, Volumul 41, Numarul 3, Martie 2003, pp. 153-159.
- [Man03] Mangold, S., Choi, S., Hiertz, G.R., Klein, O., Walke, B., Philips Res., *Analysis of IEEE 802.11e for QoS Support in Wireless LANs*, IEEE Wireless Communications, ISSN: 1536-1284, Volumul 10, 2003, pp. 40 – 50.

- [Bab04] Babbar, R., Fapojuwo, A., Far, B., *Agent-Based Resource Management in Hybrid Wireless Networks*, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Volumul 3, Mai 2004, pp. 1297 – 1300.
- [Chi04] Chiruvolu, G., Agrawal, A., Vandenhouste, M., *Mobility and QoS support for IPv6-based real-time wireless Internet traffic*, IEEE Journal on Selected areas in Communications, Volume 22, Number 4, May 2004, pp. 691-705.
- [Ier05] Iera, A., Molinaro, A., *Quality of service concept evolution for future telecommunication scenarios*, IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC 2005, Volumul 4, Septembrie 2005, pp. 2787-2793.
- [How05] Howarth, M., Flegkas, P., *Provisioning for Interdomain Quality of Service: the MESCAL Approach*, IEEE Communications Magazine, Iunie 2005, pp.129-137.
- [Fux05] Fu, X., Schulzrinne, H., Bader, A., Hogrefe, D., Kappler, C., Karagiannis, G., Tschofenig, H., *NSIS: a new extensible IP signaling protocol suite*, IEEE Communication Magazin, ITS, pp. 133–141, Octombrie 2005.
- [Bor05] Borcoci, E., Asgari, A., Butler, N., Ahmed, T., Mehaoua, A., Kourmentzas, G., Eccles, S., *Service management for end-to-end QoS multimedia content delivery in heterogeneous environment*, Advanced Industrial Conference on Telecommunications/Service Assurance with Partial and Intermittent Resources Conference/E-Learning on Telecommunications Workshop, AICT/SAPIR/ELETE, Iulie 2005, pp. 46 – 52.
- [Orz05] Orzechowski, M.S.T., *The Usage of Mobile Agents for Management of Data Transmission in Telecommunications Networks*, SIBCON 2005, Octombrie 2005, pp. 8 – 12.
- [Dey05] Deyun, G., Jianfei, C., *Admission Control in IEEE 802.11e Wireless LANs*, IEEE Network Magazine, August 2005, pp. 6 – 13.
- [Qia05] Qiang, N., *Performance Analysis and Enhancements for IEEE 802.11e Wireless Networks*, IEEE Network Magazine, August 2005, pp. 21-27.
- [Gan05] Ganna, M., Horlait, E., *Agent-based framework for policy-driven service provisioning to nomadic users*, IEEE International Conference on Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, WiMob2005, Volumul 4, August 2005, pp. 82 – 89.
- [Sir06] Siris, V.A., Courcoubetis, C., *Resource Control for the EDCA and HCCA Mechanisms in IEEE 802.11e Networks*, 4th International Symposium on Ad Hoc and Wireless Networks, Aprilie 2006, pp. 1 – 6.
- [Bor06] Borcoci, E., Balaci, R., Obreja, S., Iorga, R., *Concurrent implementation of multi-domain service management for end-to-end multimedia delivery*, The 6th International Conference COMMUNICATIONS 2006, Iunie 2006, pp.341-346.
- [Xiu06] Xiuhua, F., Wang, J., Zhou, W., Junde, S., *End-to-End QoS Architecture and Inter-domain QoS Model across Multiple Domains*, International Conference on Communication Technology, ICCT '06, Noiembrie 2006, pp. 1 – 4.
- [Wei06] Weissner, M.-A., Tomasik, J., *A distributed algorithm for inter-domain resources provisioning*, 2nd Conference on Next Generation Internet Design and Engineering, NGI 2006, pp. 9 – 16.
- [Ban06] Ban, S., Choi, J.K., Kim, H-S., *Efficient end-to-end QoS mechanism using egress node resource prediction in NGN network*, The 8th International Conference in Advanced Communication Technology (ICACT 2006), Februarie 2006, Volumul 1, pp. 480 – 483.

- [Du07] Du, D.H.C., *Clean Slate Design of Internet for Supporting Service-Oriented Computing and Applications*, IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, SOCA 07, Iunie 2007, pp. 3 – 3.
- [May07] Mayank Kanthali, Apurva Gaiwak, P. D. Vyavahare, “Performance Comparison of Contention-Based Channel Access Mechanism of IEEE 802.11 and 802.11e”, *Seventh International Conference on Computer and Information Technology*, IEEE Computer Society, 2007, pp. 503-507.
- [Rac08] Racaru, F., Diaz, M., Chassot, C., *Quality of Service Management in Heterogeneous Networks*, International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service, CTRQ'08, Iulie 2008, pp. 83 – 88.
- [Hem08] Hemami, M.S.; Pirhadi, M.; Tabrizipoor, A.I., *Analysis and optimization of resource control schemes in Next Generation Networks*, First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference - Innovations in NGN: Future Network and Services (K-INGN 2008), 12-13 Mai 2008, pp. 63 – 68.
- [Obr08] Obreja, S.G., Borcoci, E. *Overlay Topology Based Inter-domain QoS Paths Building*, Fourth Advanced International Conference, AICT 2008, Iunie 2008, pp. 64 – 70.
- [Cal08] Callejo-Rodriguez, M.A., Enriquez-Gabeiras, J., Burakowski, W., Beben, A.; Sliwinski, J., Dugeon, O., Mingozi, E., Stea, G., Diaz, M., Baresse, L., *EuQoS: End-To-End QoS over Heterogeneous Networks*, Innovations in NGN: Future Network and Services, K-INGN 2008, First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference, Mai 2008, pp. 177 – 184.
- [Dey08] Deyun, G., Cai, J., Chen, C., *Admission Control Based on Rate-Variance Envelop for VBR Traffic Over IEEE 802.11e HCCA WLANs*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volumul 57, Mai 2008, pp. 1778 – 1788.
- [Pav08] Pavlou, G., Pras, A., *Topics in Network and Service Management [Guest Editorial]*, IEEE Communications Magazine, Volumul 46, Numărul 5, Mai 2008, pp. 136 - 137.

Cărți și manuale

- [Pal01] Palade, T., *Radiocomunicații Celulare*, Editura Mediamira, 2001.
- [Pra03] Prasad, R., Ruggieri, M., *Technology Trends in Wireless Communications*, Artech House, 2003.
- [Pra05] Prasad, R., Prasad, N. R., *802.11 WLANs and IP networking: security, QoS, and mobility*, Artech House, 2005.
- [Muk03] Mukherjee, A., Bandyopadhyay, S., Saha, D., *Location Management and Routing in Mobile Wireless Networks*, Artech House, 2003.
- [Dob02] Dobrotă, V., *Rețele digitale în telecomunicații. Volumul III: OSI și TCP/IP*, Prima ediție, Editura Mediamira, Cluj-Napoca 2002
- [Pat03] Patil, B., et al. *IP in Wireless Networks*, Prentice Hall PTR, January 2003.
- [Tan03] Tanenbaum, S. A., *Computer Networks, Fourth Edition*, Prentice Hall, 2003.
- [Che04] Chen, J., Zhang, T., *IP-Based Next-Generation Wireless Networks*, John Wiley & Sons, 2004.
- [Har01] Hardy, W., *QoS Measurement and Evaluation of Telecommunications Quality of Service*, John Wiley & Sons, 2001.
- [Par05] Park, K., I., *QoS in Packet Networks*, Springer Science, 2005.
- [Gan03] Ganz, A., Ganz, Z., Wongthavarawat, K., *Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS*, Prentice Hall PTR, 2003.
- [Llo02] Lloyd-Evans, R., *QoS in Integrated 3G Networks*, Robert Lloyd-Evans, Artech House, 2002.

- [Veg01] Vegesna, S., *IP Quality of Service*, CISCO Press, 2001.
- [Mao09] Maode, M., Mieso, K., Zhang, Y., *Wireless Quality of Service*, CRC Press, 2009.
- [Mar07] Marchese, M., *QoS over Heterogeneous Networks*, John Wiley & Sons, 2007.

Dicționare

- [ISO-8402] ISO 8402, *Quality Management and Quality Assurance - Vocabulary*, 1994.

Standarde IEEE

- [IEEE.11.97] IEEE 802.11 WG, IEEE Std. 802.11-1997, *International Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks. Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)*, Specifications, 1997.
- [IEEE.11.99] IEEE 802.11 WG, IEEE Std. 802.11-1999, *International Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks. Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)*, Specifications, 1999.
- [IEEE.11e.01] IEEE 802.11 WG, *Draft Supplement to standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems – LAN/MAN Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Enhancement for Quality of Service(QoS)*, 2001.
- [IEEE.11e.05] IEEE 802.11 WG, IEEE Std. 802.11-2005e, *International Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks. Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements*, Specifications, Amendment to IEEE Std 802.11™, 1999 Edition (R2003), 2005.
- [IEEE.11.07] IEEE 802.11 WG, IEEE Std. 802.11-1999, *International Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks. Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)*, Specifications, Revision of IEEE 802.11-1999 Edition, 2007.
- [IEEE.16.02] IEEE 802.16 WG, IEEE 802.16-2001, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Aprilie 2002.
- [IEEE.16.02a] IEEE 802.16 WG, IEEE P802.16a/D4-2002, *Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems—Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz*, Mai 2002.

Specificații și cerințe 3GPP

- [TR 23.207] 3GPP TS 23.207, *End-to-end Quality of Service (QoS) concept and architecture*, Release 6, Septembrie 2005
- [TR 23.802] 3GPP TR 23.802, *Architectural Enhancements for End-to-End Quality of Service (QoS)*, Release 7, Iulie 2005
- [TR 23.836] 3GPP TR 23.836, *QoS and policy aspects of 3GPP - WLAN Interworking*, 2005.
- [TS 23.228] 3GPP TS 23.228, *IP Multimedia Subsystem (IMS)*, Decembrie 2006.
- [TR 23.282] 3GPP TR 23.228, *3GPP System Architecture Evolution – Report on Technical Options and Conclusions*, Noiembrie 2006.
- [TS 23.402] 3GPP TS 23.402, *3GPP Architecture Enhancements for non-3GPP accesses*, Mai 2007.

Recomandări ITU-T

- [ITU-Y.2111] ITU-T Recommendation Y.2111, *Resource and Admission Control Functions*, 2008
- [ITU-Y.2012] ITU-T Recommendation Y.2012, *Functional requirements and architecture of the NGN*, 2008
- [ITU-T E.800] ITU-T Recommendation E.800, *Terms and Definitions Related to Quality of Service and Network Performance Including Dependability*, August 1993.
- [ITU-M3010] ITU-T Recommendation M.3010, *Principles for a Telecommunications Management Network*, 1996, <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3010/en>
- [ITU-M3400] ITU-T Recommendation M.3400, *TMN management functions*, 2000, <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3400-200002-I/en>

Normative și specificații ETSI

- [ETSI ET802] ETSI ETS 300 802, *Digital Video Broadcasting (DVB); Network-independent protocols for DVB interactive services*, Noiembrie 1997.
- [ETSI EN790] ETSI EN 301 790, *Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems*, Decembrie 2000.
- [ETSI EN192] ETSI EN 301 192, *Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting*, Ianuarie 2003.
- [ETSI 282-02] ETSI TISPAN ES 282 001 V1.1.1: *Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Functional Architecture Release 1*, August 2005.
- [ETSI 282-03] ETSI TISPAN ES 282 003 V1.1.1: *Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); Resource and Admission Control Sub-system (RACS); Functional Architecture*, Martie 2006.
- [ETSI 282-04] ETSI TISPAN ES 282 004 v1.1.1, *Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Functional Architecture; Network Attachment Sub-System (NASS)*, Iunie 2006.
- [ETSI TR 180] ETSI TISPAN TR 180 001, *NGN Release 1*, 2006.
- [ETSI TS 185] ETSI TS 185 001 V1.1.1, TISPAN; *NGN QoS Framework and Requirements*, Noiembrie 2005
- [ETSI ES 282] ETSI ES 282 003 V1.1.1, *TISPAN RACS Functional Architecture*, Iunie 2006

Requests for Comments

- [RFC 1394] Almquist, P., *Type of Service in the Internet Protocol Suite*, IETF, RFC 1349, Iunie 1992; <http://www.apps.ietf.org/rfc/rfc1349.html>
- [RFC 1633] Braden, R., Clark, D., Shenker, S., *Integrated services in the Internet architecture: an overview*, RFC 1633, IETF, Iunie 1994; <http://www.ietf.org/rfc/rfc1633.txt>
- [RFC 1889] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., Jacobson, V., *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, RFC 1889, RTP NWG, IETF, Ianuarie 1996; <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>
- [RFC 2205] Braden, R., Zhang, L., Berson, S., Herzog, S., Jamin, S., *RSVP: Resource ReSerVation Protocol*, RSVP NWG, RFC 2205, IETF, Septembrie 1997; <http://www.isi.edu/in-notes/rfc2205.txt>
- [RFC 2211] J. Wroclawski, J., *Specification of the Controlled-Load Network Element Service*, RFC 2211, Septembrie 1997; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2211.txt>
- [RFC 2212] Shenker, S., et al, *Specification of Guaranteed Quality of Service*, IETF, RFC 2212, Septembrie 1997; <http://tools.ietf.org/html/rfc2212>
- [RFC 2326] Schulzrinne, H., Rao, Lanphier, A., *RTSP: Real Time Streaming Protocol*, RFC 2326, RTSP NWG, IETF, Aprilie 1998; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt>
- [RFC 2327] Handley, H., Jacobson, V., *SDP: Session Description Protocol*, SDP NWG, RFC 2327, IETF, Aprilie 1998; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2974.txt>
- [RFC 2386] Crawley, E., et al, *A Framework for QoS-Based Routing in the Internet*, IETF, RFC 2386, August 1998; <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2386.html>
- [RFC 2396] Berners-Lee, T., Fielding, R., Masinter, L., *Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax*, URI NWG, IETF, RFC 2396, August 1998; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2396.txt>
- [RFC 2460] Deering, S., Hinden, R., *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specifications*, RFC 2460, Decembrie 1998; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>
- [RFC 2474] Nichols, K., et al, *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers*, IETF, RFC 2474, Decembrie 1998; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt>
- [RFC 2475] Blake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z., Weiss, W., *An architecture for differentiated services*, RFC 2475, IETF, Decembrie 1998; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>
- [RFC 2543] Handley, M., Schulzrinne, H., Schooler, E., Rosenberg, J., *SIP: Session Initiation Protocol*, SIP NWG, RFC 2543, IETF, Martie 1999; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2543.txt>
- [RFC 2616] Fielding, R., Gettys, J., Mogul, J., Masinter, L., Berners, L., *HTTP/1.1: Hypertext Transfer Protocol*, RFC 2616, HTTP/1.1 NWG, IETF, Iunie 1999; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>
- [RFC 2702] Awduche, D., et al., *Requirements for Traffic Engineering over MPLS*, RFC 2702, Septembrie 1999; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2702.txt>
- [RFC 2784] Durham, D., Boyle, J., Cohen, J., Sastry, A., *The COPS (Common Open Policy Service) Protocol*, COPS NWG, IETF, RFC 2748, Ianuarie 2000; <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2748.txt>
- [RFC 2974] Handley, H., Perkins, C., Whelan, E., *SAP: Session Announcement Protocol*, RFC 2974, SAP NWG, IETF, Octombrie 2000; <http://www.ietf.org/rfc/rfc2974.txt>
- [RFC 3031] Rosen, E., Viswanathan, A., Callon, R., *Multiprotocol label switching architecture*, RFC 3031, IETF, Ianuarie 2001; <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt>

- [RFC 3209] D. Awduche et al., *RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP tunnels*, RFC 3209, Decembrie 2001; <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3209.txt>
- [RFC 3261] Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, et al., *SIP: Session Initiation Protocol*, SIP WG, IETF RFC 3261, Iunie 2002; <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>
- [RFC 3272] D. Awduche, D. Networks, M., Chiu, A., *Overview and Principles of Internet Traffic Engineering*, RFC 3272, Mai 2002; <http://www.ietf.org/rfc/rfc3272.txt>
- [RFC 3550] H. Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., Jacobson, V., *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, IETF, Iulie 2003; <http://tools.ietf.org/html/rfc3550>
- [RFC 3726] M. Brunner (editor), *Requirements for Signaling Protocols*, RFC 3726, Aprilie 2004; <http://www.ietf.org/rfc/rfc3726.txt>
- [RFC 4080] R. Hancock et al., *Next Steps in Signaling: Framework*, RFC 4080, Iunie 2005; <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4080.txt>
- [RFC 4105] JL Le Roux, JP Vasseur, Jim Boyle, *Requirements for Inter-area MPLS Traffic Engineering*, Internet Draft, TEWG Working Group, Iunie 2005; <http://www.ietf.org/rfc/rfc4105.txt>
- [RFC 4216] Raymond Zhang, JP Vasseur, *MPLS Inter-AS Traffic Engineering requirements*, Internet Draft, TEWG Working Group, Noiembrie 2005; <http://tools.ietf.org/html/rfc4216.txt>
- [RFC 5246] Dierks, T., Rescorla, E., *The Transport Layer Security (TLS) Protocol*, IETF, RFC 5246, August 2008, <http://tools.ietf.org/html/rfc5246>

Internet Draft

- [cops00-01] Salsano, S., *COPS Usage for Diffserv Resource Allocation (COPS-DRA)*, IETF, Octombrie 2001; <http://www.coritel.it/downloads/pubs/draft-salsano-cops-dra-00.txt>
- [nslp07-05] J. Manner et al., *NSLP for Quality-of-Service signaling*, Internet draft, work in progress, Iulie 2005; <http://www.ietf.org/internet-drafts/draftietf-nsis-qos-nslp-07.txt>
- [intnsis02-05] C. Kappler and X. Fu, "A QoS Model for Signaling IntServ Controlled-Load Service with NSIS," Internet draft, work in progress, Iulie 2005; <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-kappler-nsisqosmodel-controlledload-02.txt>
- [difnsis03-05] A. Bader et al., *QOSM – The Resource Management in Diffserv QoS Model*, Internet draft, work in progress, Iunie 2005; <http://www.ietf.org/internetdrafts/draft-ietf-nsis-rmd-03.txt>
- [qospec05-05] J. Ash, A. Bader, and C. Kappler, *QoS-NSLP QSPEC Template*, Internet draft, work in progress, Iulie 2005; <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-nsis-qspec-05.txt>

Documente publice în cadrul unor proiecte de cercetare:

- [mescal-d3.2] Eleni Mykoniati, Algonet S.A. (editori), et al., *D3.2: Final Experimental Results: Validation and Performance Assessment of Algorithms and Protocols for Inter-domain QoS through Servicedriven Traffic Engineering*, MESCAL IST Project Public Deliverable D23F, August 2005; <http://www.mescal.org/deliverables/d32.html>

- [enthrr-d2.3f] Ahmed, T., et al., *End-to-end QoS Signaling & Policy-based Management Architectures*, ENTHRONE IST Project Public Deliverable D23F, Septembrie 2005; <http://enthrrone.org>

Adrese web:

- [ist-web] The EU IST Programme, <http://www.cordis.lu/ist>.
 [qualnet-web] <http://www.scalable-networks.com/>
 [ma-web] http://www.geocities.com/kunal_u_shah
 [umts-web] <http://www.antd.nist.gov/seamlessandsecure/toolsuite.html>
 [itut-web] <http://www.itu.int/rec/T-REC-m>
 [ns-web] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
 [ns.11e-web] http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e_ns2/
 [cmu-web] <http://www.monarch.cs.rice.edu/cmu-ns.html>
 [opnet-web] <http://www.opnet.com/>
 [glomo-web] <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>
 [cisco-web] <http://www.cisco.com>
 [itut-web] <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/ngn2004/workingdefinition.html>
 ITU-T NGN Working Definition, August 2006.
 [aquila-web] IST/AQUILA project, *Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-based Layered Architecture*; <http://www-st.inf.tu-dresden.de/aquila>
 [msf-web] MSF-TR-ARCH-005-FINAL, *Bandwidth Management in Next Generation Packet Networks*, August 2005; <http://www.msforum.org>
 [enthrr-web] IST/ENTHRONE project, *End-to-end QoS through Integrated Management of Content, Networks and Terminals*; <http://www.ist-enthrrone.org>
 [euqos-web] IST/EuQoS project, *End-to-End Quality of Service over Heterogeneous Networks*; <http://www.euqos.org>
 [mescal-web] IST/MESCAL project, *An architectural framework for Inter-domain quality of service provisioning*; <http://www.mescal.org>
 [eman-web] *European Network of Excellence for the Management of Internet Technologies and Complex Services*; <http://emanics.org>
 [caden-web] IST/CADENUS project, *Creation And Deployment of ENd-User Services in premium IP networks*; <http://www.cadenus.fokus.fraunhofer.de>
 [tequila-web] IST/TEQUILA project, *Traffic Engineering for Quality of Service in the Internet, at Large Scale*; <http://www.ist-tequila.org>
 [nsf-web] National Science Foundation, SUA, <http://www.nsf.gov>
 [comsoc-web] <http://www.comsoc.org/etnsm>
 [man08-web] <http://www.manweek.org/2008/index.php>
 [im-web] <http://www.ieee-im.org/2009>
 [noms-web] <http://www.noms2010.org>
 [man09-web] <http://magellan.tssg.org/2009/index.php>

Anexa 6.1

Fișierele adăugate și modificate de aplicația patch I-NAME

```
emanuel@emanuel:~/ cd /home/emanuel/Qualnet/4.5-ENAME
emanuel@emanuel:~/ patch -p1 < ../4.5-ENAME.patch
patching file addons/ename/Makefile-common
patching file addons/ename/Makefile-unix
patching file addons/ename/src/app ename.cpp
patching file addons/ename/src/app ename.h
patching file include/api.h
patching file include/application.h
patching file include/trace.h
patching file libraries/developer/src/app cbr.cpp
patching file libraries/developer/src/app cbr.h
patching file main/application.cpp
patching file main/dynamic.cpp
patching file main/Makefile
patching file main/Makefile-addons-unix
patching file main/Makefile-unix-common
```

Anexa 6.2

Fișierul patch I-NAME QoS aplicat simulatorului de rețele QualNet Developer 4.5

```
diff -Nur -x '*' -x '*.rej' -x '*.orig' -x '*anjuta*' -x '*sh' -x scenarios -x '*license*'
-x '*geany*' -x settings -x '*.o' 4.5/addons/iname/Makefile-common 4.5-
INAME/addons/iname/Makefile-common
--- 4.5/addons/iname/Makefile-common 1970-01-01 02:00:00.000000000 +0200
+++ 4.5-INAME/addons/iname/Makefile-common 2009-04-17 09:38:36.000000000 +0300
@@ -0,0 +1,6 @@
+INAME OPTIONS = -DADDON INAME
+INAME SRCS = \
+../addons/iname/src/app iname.cpp
+INAME INCLUDES = \
+-I../addons/iname/src
+
diff -Nur -x '*' -x '*.rej' -x '*.orig' -x '*anjuta*' -x '*sh' -x scenarios -x '*license*'
-x '*geany*' -x settings -x '*.o' 4.5/addons/iname/Makefile-unix 4.5-
INAME/addons/iname/Makefile-unix
--- 4.5/addons/iname/Makefile-unix 1970-01-01 02:00:00.000000000 +0200
+++ 4.5-INAME/addons/iname/Makefile-unix 2009-04-17 09:38:36.000000000 +0300
@@ -0,0 +1,6 @@
+include ../addons/iname/Makefile-common
+ADDON OPTIONS += $(INAME OPTIONS)
+ADDON SRCS += $(INAME SRCS)
+ADDON INCLUDES += $(INAME INCLUDES)
+ADDON LIBRARIES +=
+
diff -Nur -x '*' -x '*.rej' -x '*.orig' -x '*anjuta*' -x '*sh' -x scenarios -x '*license*'
-x '*geany*' -x settings -x '*.o' 4.5/addons/iname/src/app iname.cpp 4.5-
INAME/addons/iname/src/app iname.cpp
--- 4.5/addons/iname/src/app iname.cpp 1970-01-01 02:00:00.000000000 +0200
+++ 4.5-INAME/addons/iname/src/app iname.cpp 2009-04-17 10:51:08.000000000 +0300
@@ -0,0 +1,2870 @@
+#include <stdio.h>
+#include <stdlib.h>
+#include <string.h>
+#include "api.h"
+#include "main.h"
+#include "app util.h"
+#include "partition.h"
+
+#include "network ip.h"
+#include "mac.h"
+
+#include "app cbr.h"
+#include "app iname.h"
+#include "transport rsvp.h"
+#include "mpls.h"
+
+#define DEBUG 1
+#define DEBUG QUERY 1
+#define DEBUG ANSWER 1
+#define DEBUG QUERY RETRANSMIT 1
+#define USE RSVP TE 0
+#define USE MPLS 1
+#define USE RESEND PROBES 0
+#define USE RESEND ANSWER 1
+
+#define APP TIMER DELAY QUERY TO CLIENT 50
+#define APP TIMER RESEND QUERY DELAY 3
+#define APP TIMER SEND QUERY TO CLIENT 0
+#define APP TIMER RESEND QUERY 1
+#define APP TIMER RESEND ANSWER 2
+#define APP TIMER RESEND ANSWER DELAY 200
+#define DELAY BETWEEN PROBES 1000
+int MPLS LABEL = 40;
+
+// Trimiterea cererii AppInameClient catre AppInameServer in nodul sursa (SN)
+void
+AppInameClientSendQuery (Node *node,
+AppInameClient *inameCln)
+{
+AppInameRequest request;
+AppInameQuery *query;
+clocktype simTime = getSimTime (node);
+char clockStr[MAX STRING LENGTH];
+float interval;
```

```

+     for (query = inameCln->query; query; query = query->nextQuery)
+         if (query->startTime == simTime)
+             break;
+
+     if (! query)
+         return;
+
+     request.sourceAddr = inameCln->localAddr;
+     request.destAddr = query->destAddr;
+     request.sourcePort = inameCln->sourcePort;
+     request.itemSize = inameCln->itemSize;
+     request.destPort = query->destPort;
+     request.txTime = query->startTime;
+
+     memcpy (&(request.param), &(inameCln->param), sizeof (request.param));
+     memcpy (&(request.wParam), &(query->wParam), sizeof (request.wParam));
+
+     request.type = 'q'; //query
+
+     interval = (float) request.itemSize / request.param.bandwidth;
+     sprintf(clockStr, "%f", interval);
+     request.probesInterval = TIME ConvertToClock (clockStr);
+     if (DEBUG QUERY)
+         printf (" Intervalul intre pachete este %s\n", clockStr);
+
+     inameCln->nrPacketsSent++;
+
+ .....
+ // Compararea profilul aplicatiei sursa cu posibilitatile nodului destinatie
+ if (request.param.bandwidth > inameCln->param.bandwidth)
+ {
+     request.param.bandwidth = inameCln->param.bandwidth;
+     type = 'n';
+ }
+
+ if (request.param.delay > inameCln->param.delay)
+ {
+     request.param.delay = inameCln->param.delay;
+     type = 'n';
+ }
+
+ if (request.param.jitter > inameCln->param.jitter)
+ {
+     request.param.jitter = inameCln->param.jitter;
+     type = 'n';
+ }
+
+ // Compararea profilul QoS solicitat cu profilul caii pana la destinatie
+ if (request.param.bandwidth > profile.param.bandwidth
+     || request.param.delay < profile.param.delay
+     || request.param.jitter < profile.param.jitter)
+     type = 'n'; // Profilul QoS negociat nu corespunde
+
+ .....
+ // Adaptarea aplicatiei in nodul sursa
+ void
+ AppInameClientModifyCBRBandwidth (Node *node,
+                                     AppInameClient *inameCln,
+                                     Parameters *param)
+ {
+     AppInfo *appList;
+     AppDataCbrClient *cbrClient;
+     char clockStr[MAX_STRING_LENGTH];
+     float interval;
+     appList = node->appData.appPtr;
+
+     if (inameCln->cbrPort < 1024)
+         return; //nu are asociat nici o aplicatie CBR
+
+     for (; appList != NULL; appList = appList->appNext, cbrClient = NULL)
+     {
+         if (appList->appType == APP CBR CLIENT)
+         {
+             cbrClient = (AppDataCbrClient *) appList->appDetail;
+
+             if (inameCln->cbrPort == cbrClient->sourcePort)
+                 break; // am gasit CBR-ul asociat la inameClient
+         }
+     }
+
+ .....
+ // Modificarea dimensiunii pachetului
+ if (cbrClient)
+ {
+     cbrClient->itemSize /= 2;
+ }
+
+ // Modificarea intervalului dintre pachete
+ if (cbrClient)
+ {
+     TIME PrintClockInSecond(cbrClient->interval, clockStr);
+     cbrClient->interval = cbrClient->interval * 2;
+     TIME PrintClockInSecond(cbrClient->interval, clockStr);
+ }

```



```

+     profile.param.delay      = 0; //profile.rxTime - rqList->request.txTime;
+     profile.param.jitter     = 0;
+     profile.nrHops            = 0;
+     profile.nrProbes          = 1; // o singura proba
+     profile.txTime            = getSimTime (node);
+     return profile;
+ }
+
+ // Returnarea profilul care a fost modificat sau adaugat
+ AppInamePathProfileList*
+ AppInameServerProcessPathProfile (Node *node,
+                                     AppInameRequestList *rqList,
+                                     NodeAddress sourceAddr,
+                                     NodeAddress destAddr,
+                                     AppInamePathProfile pathProfile)
+ {
+     AppInamePathProfileList *ppList;
+     clocktype now;
+     AppInameRequest request = rqList->request;
+     now = getSimTime (node);
+
+ // Validarea probei receptionate prin verificare timpul de transmisie și a numarului de
+ // hopuri
+     if (now < pathProfile.txTime || pathProfile.txTime < 0
+         || pathProfile.nrHops < 0 || pathProfile.nrHops > MAX NR HOPS)
+     {
+         printf ("pachetul receptionat este corupt, "
+                 "sau timpul de transmisie nu corespunde ( < 0 || > now)"
+                 "sau a depasit nr de houri ( < 0 || > MAX NR HOPS)\n");
+         return NULL;
+     }
+
+ // Identificarea profilul caii ce are ca sursa nodul intermediar
+     for (ppList = rqList->pathProfileList; ppList; ppList = ppList->nextProfile)
+         if (ppList->intermediateAddr == sourceAddr)
+             break;
+
+     if (! ppList)
+     {
+         ppList = (AppInamePathProfileList *) MEM malloc (sizeof
+ (AppInamePathProfileList));
+         bzero (ppList, sizeof (AppInamePathProfileList));
+         ppList->intermediateAddr = sourceAddr;
+         // linkam la inceput
+         ppList->nextProfile = rqList->pathProfileList;
+         rqList->pathProfileList = ppList;
+
+         if (! rqList->bestPathProfile)
+             rqList->bestPathProfile = ppList;
+     }
+
+ // Selectarea celui mai bun profil functie de parametrii QoS solicitati
+ inline void
+ AppInameServerSetBestProfile (AppInameRequestList *rqList,
+                               AppInamePathProfileList *ppList)
+ {
+     (ppList->pondere > rqList->bestPathProfile->pondere)
+     {
+         rqList->bestPathProfile = ppList;
+     }
+ }
+
+ BOOL
+ AppInameServerIsBestPathProfile (AppInameRequestList *rqList,
+                                   AppInamePathProfileList *pathProfileList)
+ {
+     AppInamePathProfileList *ppList;
+
+     if (! rqList->pathProfileList)
+     {
+         ERROR ReportError ("error AppInameServerIsBestPathProfile\n");
+         return FALSE;
+     }
+
+     /*if (pathProfileList->nrProbesRecvd != pathProfileList->nrProbes)
+     {
+         printf ("current profile is incomplete\n");
+         return FALSE;
+     }*/
+
+     if (! rqList->bestPathProfile)
+         ERROR ReportError ("error AppInameServerIsBestPathProfile\n");
+
+     if (rqList->bestPathProfile->psList)
+         rqList->bestPathProfile == pathProfileList;
+
+     if (rqList->bestPathProfile == pathProfileList)
+     {
+         for (ppList = rqList->pathProfileList; ppList; ppList = ppList->nextProfile)
+         {

```

```

+         //if (ppList->nrProbesRecvd != ppList->nrProbes)
+         if (ppList->psList)
+             continue;
+
+         if (ppList->weight > rqList->bestPathProfile->weight)
+             rqList->bestPathProfile = ppList;
+     }
+     else
+     {
+         if (pathProfileList->weight > rqList->bestPathProfile->weight)
+             rqList->bestPathProfile = pathProfileList;
+     }
+     return (rqList->bestPathProfile == pathProfileList);
+ }
+
+ BOOL
+ NetworkNodeHasIpAddress (Node *node,
+                           NodeAddress destAddr)
+ {
+     int i;
+     for (i = 0; i < node->numberInterfaces; i++)
+         if (NetworkIpGetInterfaceAddress (node, i) == destAddr)
+             return TRUE;
+
+     return FALSE;
+ }
+
+ NodeAddress
+ NetworkNodeGetInterfaceAddressFromBroadcastAddress (Node *node,
+                                                       NodeAddress broadcastAddress)
+ {
+     int i;
+
+     for (i = 0; i < node->numberInterfaces; i++)
+         if (broadcastAddress == NetworkIpGetInterfaceBroadcastAddress (node, i))
+             return NetworkIpGetInterfaceAddress (node, i);
+
+     return 0;
+ }
+
+ int
+ NetworkNodeGetInterfaceIndexFromAddress (Node *node,
+                                           NodeAddress address)
+ {
+     int i;
+
+     for (i = 0; i < node->numberInterfaces; i++)
+         if (address == NetworkIpGetInterfaceBroadcastAddress (node, i)
+             || address == NetworkIpGetInterfaceAddress (node, i))
+             return i;
+
+     return -1;
+ }
+
+ void
+ AppInameServerCreateTimer (Node *node,
+                             int timerType,
+                             NodeAddress destAddr,
+                             clocktype delay)
+ {
+     AppTimer *timer;
+     Message *timerMsg;
+
+     timerMsg = MESSAGE Alloc(node,
+                               APP_LAYER,
+                               APP_INAME_SERVER,
+                               MSG_APP_TimerExpired);
+
+     MESSAGE InfoAlloc(node, timerMsg, sizeof(AppTimer));
+
+     timer = (AppTimer *)MESSAGE ReturnInfo(timerMsg);
+
+     timer->sourcePort = APP_INAME_SERVER;
+     timer->type = timerType;
+     timer->address = destAddr;
+     //timer->connectionId = 0; //APP TIMER SEND TO CLIENT;
+
+     MESSAGE Send (node, timerMsg, delay);
+
+     if (DEBUG_QUERY && (timerType == APP_TIMER_SEND_QUERY_TO_CLIENT))
+     {
+         char timeStr[MAX_STRING_LENGTH];
+
+         TIME PrintClockInSeconds (getSimTime (node) + delay, timeStr);
+     }
+ }
+
+ void
+ AppInameServerWaitBeforeSendRequestToClient (Node *node, AppInameRequestList *rqList)

```

```

+{
+    clocktype delay;
+
+    delay = APP_TIMER_DELAY_QUERY_TO_CLIENT * MILLI_SECOND;
+    rqList->sendToClientTime = getSimTime (node) + delay;
+
+    AppInameServerCreateTimer (node, APP_TIMER_SEND_QUERY_TO_CLIENT,
+                               rqList->request.destAddr, delay);
+}
+
+void
+AppInameServerRequestToResendProbes (Node *node,
+                                     AppInameRequestList *rqList,
+                                     AppInamePathProfileList *ppList)
+{
+
+    AppInameRequest request;
+
+    NodeAddress destAddress;
+    int outInterface;
+
+    memcpy (&request, &rqList->request, sizeof (request));
+    request.type = 'r'; // resend Query
+
+    outInterface = ppList->inInterface;
+    destAddress = ppList->intermediateAddr;
+
+    APP_UdpSendNewHeaderDataWithPriority(
+        node,
+        APP_INAME_SERVER,
+        NetworkIpGetInterfaceAddress (node, outInterface),
+        APP_INAME_SERVER,
+        destAddress,
+        outInterface,
+        (char *) &request,
+        sizeof (request),
+        (char *) &(ppList->nrProbes),
+        sizeof (ppList->nrProbes),
+        0, //TODO add priority here
+        0, // intarzierea
+        TRACE_INAME);
+}
+
+void
+AppInameServerProcessQuery (Node *node,
+                            Message *msg,
+                            AppInameServer *inameSrv,
+                            AppInameRequestList *rqList)
+{
+    AppInamePathProfile profile;
+    AppInamePathProfileList *pList = NULL;
+    UdpToAppRecv *info;
+    NodeAddress localAddr;
+    NodeAddress sourceAddr;
+    short sourcePort;
+    BOOL fromClient;
+
+    info = (UdpToAppRecv *) MESSAGE_ReturnInfo (msg);
+    localAddr = GetIPv4Address (info->destAddr);
+    sourceAddr = GetIPv4Address (info->sourceAddr);
+    sourcePort = info->sourcePort;
+    if (sourcePort != APP_INAME_CLIENT && NetworkNodeHasIpAddress (node, rqList->request.sourceAddr)) //request.sourceAddr)
+        return;
+    if (! MESSAGE_ReturnPacketSize (msg))
+        profile = AppInameServerNewPathProfile (node, rqList);
+
+    else
+        memcpy (&profile, MESSAGE_ReturnPacket(msg), sizeof (profile));
+
+    fromClient = FALSE;
+    if (DEBUG_QUERY && ! MESSAGE_ReturnPacketSize (msg))
+    {
+        printf ("request from client\n");
+        fromClient = TRUE;
+    }
+}
+
+// Parametrii inclusi intr-un profil QoS
+typedef
+struct struct app parameters
+{
+    Int32 bandwidth;
+    clocktype delay;
+    clocktype jitter;
+}
+Parameters;
+
+// Ponderile asociate parametrilor QoS

```

```

+typedef
+struct struct app weighted parameters
+{
+    float bandwidth;
+    float delay;
+    float jitter;
+}
+WeightedParameters;
+
+// Profilul QoS al caii
+typedef
+struct struct app iname path profile
+{
+    Parameters    param;
+    short         nrHops;
+    short         nrProbes;
+    short         SetIndicator;
+    clocktype     txTime;
+}
+AppInamePathProfile;
+// Identificarea numarului de probe la nivelul unei interfete
+typedef
+struct struct app iname interface status
+{
+    int interfaceIndex;
+    int nrProbesReceived;
+    int nrProbesSent;
+    short SetIndicator;
+}
+AppInameInterfaceStatus;
+
+// Mecanism de control al numărului de probe transmise pentru definirea unui profil
+typedef
+struct struct app iname set list
+{
+    clocktype txTime;
+    clocktype rxTime;
+    short nrProbes;
+    short nrProbesRecvd;
+    short SetIndicator;
+    struct app iname set list *nextSet;
+}
+AppInameProbesSetList;
+
+// Lista tuturor profilelor receptionate intr-un nod
+typedef
+struct struct app iname path profile list
+{
+    Parameters    param;
+    short         nrHops;
+    NodeAddress   intermediateAddr;
+    int           inInterface;
+    int           nrPktsRecvd;
+    clocktype     cumulativeDelay;
+    clocktype     lastInterArrivalInterval;
+    clocktype     cumulativeJitter;
+    int           nrJitter;
+    clocktype     resendTime;
+    AppInameProbesSetList *psList;
+    float         weight;
+    struct app iname path profile list *nextProfile;
+}
+AppInamePathProfileList;
+
+// Antetul profilelor QoS
+typedef
+struct struct app iname request
+{
+    NodeAddress    sourceAddr;
+    NodeAddress    destAddr;
+    short          sourcePort;
+    short          destPort;
+    clocktype      txTime;
+    clocktype      probesInterval;
+    int            itemSize;
+    WeightedParameters wParam;
+    Parameters     param;
+    char           type;
+}
+AppInameRequest;
+// Indicarea traseului intre sursa si destinatie
+typedef
+struct struct app iname answer
+{
+    Parameters    param;

```

```
+ char type;
+ short nrHops;
+ short currentNrHop;
+ unsigned int outLabel;
+ NodeAddress completePathAddr[MAX NR HOPS + 1];
+}
+AppInameAnswer;
+
+// Lista tuturor profilelor la nivelulul unui nod intermediar
+typedef
+struct struct app iname request list
+{
+    AppInameRequest request;
+    AppInamePathProfileList *bestPathProfile;
+    AppInamePathProfileList *pathProfileList;
+    int outInterface;
+    NodeAddress nextHopAddress;
+    int nrProfilesToResend;
+    clocktype sendToClientTime;
+    int nrRetransmittedRequest
+    AppInameInterfaceStatus *intStat;
+    AppInameAnswer *answer;
+    int nrResendedAnswer;
+    clocktype resendAnswerTime;
+    struct app iname request list *nextRequest;
+}
+AppInameRequestList;
+
+// Structura aplicatiei AppInameServer
+typedef
+struct struct app iname Server
+{
+    AppInameRequestList *requestList;
+    int nrPacketsReceived;
+    int nrPacketsSent;
+    short sourcePort;
+}
+AppInameServer;
+// Structura aplicatiei InameQuery
+typedef
+struct struct app iname client query
+{
+    NodeAddress destAddr;
+    short destPort;
+    clocktype startTime;
+    clocktype answerTime;
+    WeightedParameters wParam;
+    AppInameAnswer *answer;
+    struct struct app iname client query *nextQuery;
+}AppInameQuery;
+
+// Structura aplicatiei AppInameClient
+typedef
+struct struct app iname client
+{
+    NodeAddress localAddr;
+    AppInameQuery *query;
+    Parameters param;
+    int itemSize;
+    short sourcePort;
+    short cbrPort; //portul aplicatiei CBR, == 0 atunci nu este setat
+    char *type;
+    short nrPacketsReceived;
+    short nrPacketsSent;
+}
+AppInameClient;
+
+-----
+// Mesajul de interogare InameQuery
+void
+AppInameClientAddQuery (Node *node,
+                        Address sourceAddr,
+                        short sourcePort,
+                        Address destAddr,
+                        short destPort,
+                        clocktype startTime,
+                        WeightedParameters wParam);
+-----
+
+4.5/libraries/developer/src/app cbr.h 4.5-INAME/libraries/developer/src/app cbr.h
+-- 4.5/libraries/developer/src/app cbr.h      2008-06-10 04:01:52.000000000 +0300
+++ 4.5-INAME/libraries/developer/src/app cbr.h      2009-04-17 09:38:36.000000000
+-----
+
+#ifdef ADDON INAME
+    char sourceString[MAX STRING LENGTH];
+    char delayStr[MAX STRING LENGTH];
+    char jitterStr[MAX STRING LENGTH];
+    char bandwidthStr[MAX STRING LENGTH];
+    int itemSize;
```

```

+         Int64 bandwidth;
+         int port;
+         int cbrPort = -1;
+         NodeAddress sourceNodeId;
+         Address sourceAddr;
+
+         numValues = sscanf(appInput.inputStrings[i],
+                             "%*s %s %d %d %d %s %s %d",
+                             sourceString,
+                             &port,
+                             &itemSize,
+                             &bandwidth,
+                             delayStr,
+                             jitterStr,
+                             &cbrPort);
+
+         /*if (numValues == 6)
+             cbrPort = -1;
+         else if (numValues == 7)
+             ;
+         else */
+         if (numValues != 7 && numValues != 6)
+         {
+             char errorString[MAX STRING LENGTH];
+             sprintf(errorString,
+                     "Wrong INAME configuration format!\n"
+                     "AppInameClient <node ID> <port> <packet size> <bandwidth> <delay>
+ <jitter> [<CBR Port>]\n");
+             ERROR ReportError(errorString);
+         }
+         IO AppParseSourceString (
+             firstNode,
+             appInput.inputStrings[i],
+             sourceString,
+             &sourceNodeId,
+             &sourceAddr);
+
+         node = MAPPING GetNodePtrFromHash(nodeHash, sourceNodeId);
+         if (node)
+         {
+             clocktype delay      = TIME ConvertToClock(delayStr);
+             clocktype jitter     = TIME ConvertToClock(jitterStr);
+
+             Parameters param;
+             param.bandwidth = bandwidth;
+             param.delay = delay;
+             param.jitter = jitter; //TIME ConvertToClock(delayStr);
+
+             NewAppInameClient (node,
+                                 sourceAddr,
+
+                                 port,
+                                 itemSize,
+                                 param,
+                                 cbrPort);
+
+             //printf ("\nCBR Port %d", cbrPort);
+         }
+     }
+ #else // ADDON INAME
+     ERROR ReportError("INAME addon required\n");
+ #endif // ADDON INAME
+ }
+
+     else
+     if (! strcmp (appStr, "InameQuery"))
+     {
+ #ifdef ADDON INAME
+         char sourceString[MAX STRING LENGTH];
+         int sourcePort;
+         char destString[MAX STRING LENGTH];
+         int destPort;
+         char startTimeStr[MAX STRING LENGTH];
+
+         NodeAddress sourceNodeId;
+         Address sourceAddr;
+         NodeAddress destNodeId;
+         Address destAddr;
+
+         float wBandwidth;
+         float wDelay;
+         float wJitter;
+         numValues = sscanf(appInput.inputStrings[i],
+                             "%*s %s %d %s %d %s %f %f %f",
+                             sourceString,
+                             &sourcePort,
+                             destString,
+                             &destPort,
+                             startTimeStr,
+                             &wBandwidth,
+                             &wDelay,
+                             &wJitter);

```

```

+
+         if (numValues != 8)
+         {
+             char errorString[MAX STRING LENGTH];
+             sprintf(errorString,
+                 "Wrong INAME configuration format!\n"
+                 "InameQuery <node> <source port> <dest node> <dest port> <start
time>"
+                 " <bandwidth weight> <delay weight> <jitter weight>\n");
+             ERROR ReportError(errorString);
+         }
+
+         float sum = (wBandwidth + wDelay + wJitter);
+
+         if (! (fabs(sum - 1.0) <= 0.0001 * fabs(sum)))
+         {
+             char errorString[MAX STRING LENGTH];
+             sprintf(errorString,
+                 "Wrong INAME configuration format!\n"
+                 "The total sum of weights must be equal 1: Bandwidth
%f, delay %f, jitter %f \n"
+                 "Total amount = %f",
+                 wBandwidth, wDelay, wJitter, sum); // (wBandwidth +
wDelay + wJitter));
+             ERROR ReportError(errorString);
+         }
+
+         IO AppParseSourceAndDestStrings (
+             firstNode,
+             appInput.inputStrings[i],
+             sourceString,
+             &sourceNodeId,
+             &sourceAddr,
+             destString,
+             &destNodeId,
+             &destAddr);
+
+         node = MAPPING GetNodePtrFromHash(nodeHash, sourceNodeId);
+
+         if (node)
+         {
+             clocktype startTime = TIME ConvertToClock(startTimeStr);
+
+             WeightedParameters wParam;
+             wParam.bandwidth = wBandwidth;
+             wParam.delay = wDelay;
+             wParam.jitter = wJitter;
+
+             AppInameClientAddQuery (node,
+                                     sourceAddr,
+                                     sourcePort,
+                                     destAddr,
+                                     destPort,
+                                     startTime,
+                                     wParam);
+         }
+     }
+ #else // ADDON INAME
+     ERROR ReportError("INAME addon required\n");
+ #endif // ADDON INAME
+ }
+
+ /*
+     else
+     if (! strcmp (appStr, "INAME") == 0)
+     {
+ #ifdef ADDON INAME
+         //Initialize variables for reading user input
+         char sourceString[MAX STRING LENGTH];
+         char destString[MAX STRING LENGTH];
+         char delayStr[MAX STRING LENGTH];
+         char jitterStr[MAX STRING LENGTH];
+         char startTimeStr[MAX STRING LENGTH];
+         char bandwidthStr[MAX STRING LENGTH];
+         Int32 bandwidth;
+         NodeAddress sourceNodeId;
+         Address sourceAddr;
+         NodeAddress destNodeId;
+         Address destAddr;
+         Node *node1;
+
+         numValues = sscanf(appInput.inputStrings[i],
+             "%*s %s %s %s %d %s %s",
+             sourceString,
+             destString,
+             startTimeStr,
+             &bandwidth,
+             delayStr,
+             jitterStr);
+
+

```

```

+         if (numValues != 6)
+         {
+             char errorString[MAX STRING LENGTH];
+             sprintf(errorString,
+                 "Wrong INAME configuration format!\n"
+                 "INAME <src> <dest> <start time> <bandwidth> <delay> <jitter>\n");
+             ERROR ReportError(errorString);
+         }
+
+         IO AppParseSourceAndDestStrings(
+             firstNode,
+             appInput.inputStrings[i],
+             sourceString,
+             &sourceNodeId,
+             &sourceAddr,
+             destString,
+             &destNodeId,
+             &destAddr);
+
+         node = MAPPING GetNodePtrFromHash(nodeHash, sourceNodeId);
+         node1 = MAPPING GetNodePtrFromHash(nodeHash, destNodeId);
+         if (! node && ! node1 )
+         {
+             clocktype startTime = TIME ConvertToClock(startTimeStr);
+             clocktype delay = TIME ConvertToClock(delayStr);
+             clocktype jitter = TIME ConvertToClock(jitterStr);
+
+             AppInameClientInit(
+                 node,
+                 sourceAddr,
+                 destAddr,
+                 startTime,
+                 bandwidth,
+                 delay,
+                 jitter);
+
+             AppInameClientInit(
+                 node,
+                 sourceAddr,
+                 destAddr,
+                 startTime,
+                 bandwidth,
+                 delay,
+                 jitter);
+         }
+
+         // Handle Loopback Address
+         if (node == NULL || !APP SuccessfullyHandledLoopback(
+             node,
+             appInput.inputStrings[i],
+             destAddr,
+             destNodeId,
+             sourceAddr,
+             sourceNodeId))
+         {
+             node = MAPPING GetNodePtrFromHash(nodeHash, destNodeId);
+         }
+
+     }
+
+ #else // ADDON INAME
+     ERROR ReportError("INAME addon required\n");
+ #endif // ADDON INAME
+ }
+ */
+
+     else
+     {
+         if (strcmp(appStr, "mgen") == 0)
+         {
+             @@ -5198,6 +5523,19 @@
+         }
+     }
+ #endif /* ADDON HELLO */
+
+ #ifdef ADDON INAME
+     case APP INAME CLIENT:
+     {
+         AppLayerInameClient (node, msg);
+         break;
+     }
+     case APP INAME SERVER:
+     {
+         AppLayerInameServer (node, msg);
+         break;
+     }
+ #endif
+
+ #ifdef ADDON INAME
+     case APP INAME SERVER:
+     {
+         AppInameServerFinalize(node, appList);
+         break;
+     }
+
+ }

```

```

+         case APP INAME CLIENT:
+         {
+             AppInameClientFinalize(node, appList);
+             break;
+         }
+ #endif /* ADDON INAME */
+
+ #ifdef ADDON BOEINGFCS
+     case APP ROUTING HSLS:
+     {
diff -Nur -x '*' -x '*.rej' -x '*.orig' -x '*anjuta*' -x '*sh' -x scenarios -x '*license*'
-x '*geany*' -x settings -x '*.o' 4.5/main/dynamic.cpp 4.5-INAME/main/dynamic.cpp
--- 4.5/main/dynamic.cpp      2008-02-01 13:01:27.000000000 +0200
+++ 4.5-INAME/main/dynamic.cpp      2009-04-17 09:38:36.000000000 +0300
@@ -22,7 +22,7 @@

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
-
+#include <algorithm>
#include "api.h"
#include "partition.h"
#include "dynamic.h"
diff -Nur -x '*' -x '*.rej' -x '*.orig' -x '*anjuta*' -x '*sh' -x scenarios -x '*license*'
-x '*geany*' -x settings -x '*.o' 4.5/main/Makefile-addons-unix 4.5-INAME/main/Makefile-
addons-unix
--- 4.5/main/Makefile-addons-unix      2009-03-10 14:44:42.000000000 +0200
+++ 4.5-INAME/main/Makefile-addons-unix      2009-04-17 09:38:36.000000000 +0300
@@ -38,6 +38,7 @@
#include ../addons/link16/Makefile-unix # requires SPAWAR permission
#include ../addons/opar/Makefile-unix   # not for distribution
#include ../addons/rfps/Makefile-unix   # requires SPAWAR permission and EMPIRE s/w
+include ../addons/iname/Makefile-unix  # INAME protocol

# INSERT Contributed Models HERE
#include ../contributed/maodv/Makefile-unix
diff -Nur -x '*' -x '*.rej' -x '*.orig' -x '*anjuta*' -x '*sh' -x scenarios -x '*license*'
-x '*geany*' -x settings -x '*.o' 4.5/main/Makefile-unix-common 4.5-INAME/main/Makefile-
unix-common
--- 4.5/main/Makefile-unix-common      2008-08-12 19:19:44.000000000 +0300
+++ 4.5-INAME/main/Makefile-unix-common      2009-04-17 09:38:36.000000000 +0300
@@ -44,8 +44,8 @@
# Define compilers.
#

-CC = gcc
-CXX = g++
+CC = gcc-4.1
+CXX = g++-4.1

#
# Define compiler flags.

```

Anexa 6.3

Fișierul de configurare al scenariului rețelei și parametrii de simulare “.config”

```
# ***** QualNet Configuration File *****
# ***** General *****
# ***** General *****

# Configurarea parametrilor de simulare generali

VERSION 4.5
EXPERIMENT-NAME Qualnet
EXPERIMENT-COMMENT versiunea finala de topologie inter-domeniu analizate

SIMULATION-TIME 220S
# The random number seed is used to initialize part of the seed of various randomly
generated numbers in the simulation. Use different seeds to see the consistency of the
results of the simulation.
SEED 1

# ***** Parallel Settings *****
# Method for assigning nodes to parallel partitions
PARTITION-SCHEME AUTO

# ***** Terrain *****
# The size of the physical terrain in which the nodes are being simulated.

# Configurarea caracteristicilor terenului pe care este rulata simularea

COORDINATE-SYSTEM CARTESIAN
# The size of the terrain in meters.
TERRAIN-DIMENSIONS ( 3500, 1500 )
# Terrain altitude in meters.
DUMMY-ALTITUDES ( 1500, 1500 )
# If this is set to YES, the simulation terminates when it attempts to use an elevation not
included in the terrain data files. If it is NO, the execution simply assumes that such
elevations are 0.0.
TERRAIN-DATA-BOUNDARY-CHECK YES

# Numarul nodurilor si pozitionarea lor in scenariul analizat

# ***** Node Positioning *****

# ***** Nodes *****

# The number of nodes being simulated.
DUMMY-NUMBER-OF-NODES 33
# The node placement strategy.
NODE-PLACEMENT FILE
NODE-POSITION-FILE final_generic.nodes

.....

# ***** Wireless Settings *****

# Configurarea specificatiilor la nivel de strat fizic

# ***** Channel *****

PROPAGATION-CHANNEL-FREQUENCY 5000000000

PROPAGATION-CHANNEL-FREQUENCY [1] 2400000000
PROPAGATION-CHANNEL-FREQUENCY [2] 2400000000
PROPAGATION-CHANNEL-FREQUENCY [3] 2500000000
PROPAGATION-CHANNEL-FREQUENCY [4] 2500000000
PROPAGATION-CHANNEL-FREQUENCY [5] 2500000000
PROPAGATION-MODEL STATISTICAL
PROPAGATION-MODEL [1] STATISTICAL
PROPAGATION-MODEL [2] STATISTICAL
PROPAGATION-MODEL [3] STATISTICAL
PROPAGATION-MODEL [4] STATISTICAL
PROPAGATION-MODEL [5] STATISTICAL
# Signals with powers below PROPAGATION-LIMIT (in dBm) (before the antenna gain at the
receiver) are not delivered.
PROPAGATION-LIMIT -111.0
# Signals with powers below PROPAGATION-LIMIT (in dBm) (before the antenna gain at the
receiver) are not delivered.
PROPAGATION-LIMIT [1] -111.0
```

```

# Signals with powers below PROPAGATION-LIMIT (in dBm) (before the antenna gain at the
receiver) are not delivered.
PROPAGATION-LIMIT[2] -111.0
# Signals with powers below PROPAGATION-LIMIT (in dBm) (before the antenna gain at the
receiver) are not delivered.
PROPAGATION-LIMIT[3] -111.0
# Signals with powers below PROPAGATION-LIMIT (in dBm) (before the antenna gain at the
receiver) are not delivered.
PROPAGATION-LIMIT[4] -111.0
# Signals with powers below PROPAGATION-LIMIT (in dBm) (before the antenna gain at the
receiver) are not delivered.
PROPAGATION-LIMIT[5] -111.0
# 2-Ray Pathloss Propagation Model
PROPAGATION-PATHLOSS-MODEL TWO-RAY
# 2-Ray Pathloss Propagation Model
PROPAGATION-PATHLOSS-MODEL[1] TWO-RAY
# 2-Ray Pathloss Propagation Model
PROPAGATION-PATHLOSS-MODEL[2] TWO-RAY
# 2-Ray Pathloss Propagation Model
PROPAGATION-PATHLOSS-MODEL[3] TWO-RAY
# 2-Ray Pathloss Propagation Model
PROPAGATION-PATHLOSS-MODEL[4] TWO-RAY
# 2-Ray Pathloss Propagation Model
PROPAGATION-PATHLOSS-MODEL[5] TWO-RAY
PROPAGATION-SHADOWING-MODEL CONSTANT
# in dB
PROPAGATION-SHADOWING-MEAN 4.0
PROPAGATION-SHADOWING-MODEL[1] CONSTANT
# in dB
PROPAGATION-SHADOWING-MEAN[1] 4.0
PROPAGATION-SHADOWING-MODEL[2] CONSTANT
# in dB
PROPAGATION-SHADOWING-MEAN[2] 4.0
PROPAGATION-SHADOWING-MODEL[3] CONSTANT
# in dB
PROPAGATION-SHADOWING-MEAN[3] 4.0
PROPAGATION-SHADOWING-MODEL[4] CONSTANT
# in dB
PROPAGATION-SHADOWING-MEAN[4] 4.0
PROPAGATION-SHADOWING-MODEL[5] CONSTANT
# in dB
PROPAGATION-SHADOWING-MEAN[5] 4.0
PROPAGATION-FADING-MODEL NONE
PROPAGATION-FADING-MODEL[1] NONE
PROPAGATION-FADING-MODEL[2] NONE
PROPAGATION-FADING-MODEL[3] NONE
PROPAGATION-FADING-MODEL[4] NONE
PROPAGATION-FADING-MODEL[5] NONE

# ***** Radio/Physical Layer *****

ENERGY-MODEL-SPECIFICATION NONE
BATTERY-MODEL NONE
PHY-MODEL PHY802.16
# transmission power in dBm
PHY802.16-TX-POWER 15.0
PHY802.16-CHANNEL-BANDWIDTH 10000000
PHY802.16-FFT-SIZE 512
PHY802.16-CYCLIC-PREFIX 16.0
PHY-RX-MODEL PHY802.16
# Channels the radio is capable of listening to.
PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 000100
# Channels the radio is currently listening to. Can be changed during run time.
PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 000100
# Temperature of the environment in K
PHY-TEMPERATURE 290.0
PHY-NOISE-FACTOR 10.0
ANTENNA-MODEL-CONFIG-FILE-SPECIFY NO
ANTENNA-MODEL OMNIDIRECTIONAL
# antenna gain in dB
ANTENNA-GAIN 5.0
# antenna height in meters
ANTENNA-HEIGHT 1.5
# efficiency of the antenna
ANTENNA-EFFICIENCY 0.8
# antenna mismatch loss in dB
ANTENNA-MISMATCH-LOSS 0.3
# antenna cable loss in dB
ANTENNA-CABLE-LOSS 0.0
# antenna connection loss in dB
ANTENNA-CONNECTION-LOSS 0.2

# Configurarea specificatiilor la nivel de strat legaturi de date

# ***** MAC Protocol *****

MAC-PROTOCOL MAC802.16
MAC-802.16-STATION-TYPE SS
MAC-802.16-SS-WAIT-DCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S
MAC-802.16-SS-WAIT-UCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S

```

```

MAC-802.16-SERVICE-FLOW-TIMEOUT-INTERVAL 15S
MAC-802.16-PACKING-ENABLED NO
MAC-802.16-RANGING-TYPE NORMAL
MAC-802.16-CONTENTION-BASED-BWREQ-TYPE NORMAL
MAC-802.16-SUPPORT-MOBILITY NO
MAC-802.16-ARQ-ENABLED NO
# specifies an additional delay for messages sent by the MAC layer to the phy layer. Some
MAC protocols use a multiple of this value.
MAC-PROPAGATION-DELAY 1US
# must be set to YES if nodes want to overhear packets destined to the neighboring node.
PROMISCUOUS-MODE YES
.....

# Configurarea specificatiilor la nivel de strat retea

# ***** Network Protocol *****

NETWORK-PROTOCOL IP
IP-ENABLE-LOOPBACK YES
IP-LOOPBACK-ADDRESS 127.0.0.1
IP-FRAGMENTATION-UNIT 2048
IP-QUEUE-NUM-PRIORITIES 7
IP-QUEUE-PRIORITY-INPUT-QUEUE-SIZE 100000
DUMMY-PRIORITY-QUEUE-SIZE NO
IP-QUEUE-PRIORITY-QUEUE-SIZE 100000
DUMMY-PRIORITY-WISE-IP-QUEUE-TYPE NO
IP-QUEUE-TYPE FIFO
# ECN as presented in RFC 2481. Requires one of the IP-QUEUE-TYPE (RED, RIO, or WRED).
Furthermore, the source and destination nodes must be ECN enabled.
ECN NO
IP-QUEUE-SCHEDULER STRICT-PRIORITY

# ***** Routing Protocol *****

DUMMY-ROUTING DYNAMIC
ROUTING-PROTOCOL RIP
RIP-VERSION 2
SPLIT-HORIZON SIMPLE
OSPFv3-ADDITIONAL-PARAMETERS NO
HSRP-PROTOCOL NO
# Determines whether or not node(s) will forward packets
IP-FORWARDING YES
# Static routes have priority over those discovered by routing protocols
STATIC-ROUTE NO
# Default routes have less priority than static routes and those discovered by routing
protocols
DEFAULT-ROUTE NO

# ***** Microwave Configuration *****

# ***** MPLS configuration *****

MPLS-PROTOCOL YES
MPLS-ROUTE-TO-IP-ON-ERROR NO
DYNAMIC-LDP STATIC

# Configurarea specificatiilor la nivel de strat transport

# ***** Transport Layer *****

TCP LITE
TCP-USE-RFC1323 NO
TCP-DELAY-ACKS YES
TCP-DELAY-SHORT-PACKETS-ACKS NO
TCP-USE-NAGLE-ALGORITHM YES
TCP-USE-KEEPALIVE-PROBES YES
TCP-USE-PUSH YES
TCP-MSS 512
TCP-SEND-BUFFER 16384
TCP-RECEIVE-BUFFER 16384

# Configurarea specificatiilor la nivel de strat aplicatie

# ***** Traffic and Status *****

# ***** Application Layer *****

# Used to setup applications such as FTP and Telnet. Will be added to any applications
configured manually.
APP-CONFIG-FILE final_generic.app
RTP-ENABLED NO
.....

# Activarea statisticilor pentru fisierul de iesire

# ***** Statistics *****

# All the statistics are compiled together into a file called "ExperimentName.stat"(where
experiment name is specified on the General settings) at the end of the simulation.

```

```

APPLICATION-STATISTICS YES
TCP-STATISTICS NO
UDP-STATISTICS YES
ROUTING-STATISTICS YES
ICMP-STATISTICS NO
IGMP-STATISTICS NO
EXTERIOR-GATEWAY-PROTOCOL-STATISTICS NO
NETWORK-LAYER-STATISTICS YES
QUEUE-STATISTICS YES
INPUT-QUEUE-STATISTICS NO
SCHEDULER-STATISTICS YES
INPUT-SCHEDULER-STATISTICS NO
MAC-LAYER-STATISTICS YES
PHY-LAYER-STATISTICS YES
BATTERY-MODEL-STATISTICS NO
ENERGY-MODEL-STATISTICS NO
MOBILITY-STATISTICS NO
MPLS-STATISTICS YES
MPLS-LDP-STATISTICS NO
RSVP-STATISTICS NO
SRM-STATISTICS NO
DIFFSERV-EDGE-ROUTER-STATISTICS NO
QOSPF-STATISTICS NO
# Network Statistics should be on
ACCESS-LIST-STATISTICS NO
POLICY-ROUTING-STATISTICS YES
ROUTE-REDISTRIBUTION-STATISTICS NO
SIGNALLING-STATISTICS NO
RTP-STATISTICS NO
MOBILE-IP-STATISTICS NO
ATM-SCHEDULER-STATISTICS NO
ATM-LAYER2-STATISTICS NO
ADAPTATION-LAYER-STATISTICS NO
.....

# Setarea parametrilor pentru legaturile definite in scenariu

# ***** LLC Configuration *****

LLC-ENABLED YES

#-----Subnet ID 22 -----
SUBNET N8-192.0.0.0 { 1, 2, 16 thru 18 } 83.18 994.52 0.0
[ N8-192.0.0.0 ] NODE-ICON wireless-subnet.png
[ N8-192.0.0.0 ] PHY-MODEL PHY802.11b
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11-AUTO-RATE-FALLBACK NO
# bandwidth in bps. supported data rates: 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11-DATA-RATE 11000000
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-TX-POWER--1MBPS 15.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-TX-POWER--2MBPS 15.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-TX-POWER--6MBPS 15.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-TX-POWER--11MBPS 15.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-RX-SENSITIVITY--1MBPS -93.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-RX-SENSITIVITY--2MBPS -89.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-RX-SENSITIVITY--6MBPS -87.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11b-RX-SENSITIVITY--11MBPS -83.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY802.11-ESTIMATED-DIRECTIONAL-ANTENNA-GAIN 15.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY-RX-MODEL PHY802.11b
# Channels the radio is capable of listening to.
[ N8-192.0.0.0 ] PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 010000
# Channels the radio is currently listening to. Can be changed during run time.
[ N8-192.0.0.0 ] PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 010000
# Temperature of the environment in K
[ N8-192.0.0.0 ] PHY-TEMPERATURE 290.0
[ N8-192.0.0.0 ] PHY-NOISE-FACTOR 10.0
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-MODEL-CONFIG-FILE-SPECIFY NO
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-MODEL OMNIDIRECTIONAL
# antenna gain in dB
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-GAIN 5.0
# antenna height in meters
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-HEIGHT 1.5
# efficiency of the antenna
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-EFFICIENCY 0.8
# antenna mismatch loss in dB
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-MISMATCH-LOSS 0.3
# antenna cable loss in dB
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-CABLE-LOSS 0.0
# antenna connection loss in dB
[ N8-192.0.0.0 ] ANTENNA-CONNECTION-LOSS 0.2
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-PROTOCOL MACDOT11e
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-DIRECTIONAL-ANTENNA-MODE NO
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-SHORT-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 7
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-LONG-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 4
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-RTS-THRESHOLD 0
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-ASSOCIATION DYNAMIC
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-SCAN-TYPE PASSIVE
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-SSID NONE
[ N8-192.0.0.0 ] MAC-DOT11-STA-CHANNEL 1
# must be set to YES if nodes want to overhear packets destined to the neighboring node.
[ N8-192.0.0.0 ] PROMISCUOUS-MODE YES

```

```

[ N8-192.0.0.0 ] NETWORK-PROTOCOL IP

#-----Subnet ID 23 -----
SUBNET N8-192.0.1.0 { 1, 3, 19 thru 21 } 515.08 367.47 0.0
[ N8-192.0.1.0 ] NODE-ICON wireless-subnet.png
[ N8-192.0.1.0 ] PHY-MODEL PHY802.11a
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11-AUTO-RATE-FALLBACK NO
# bandwidth in bps. supported data rates: 6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 18Mbps, 24Mbps, 36Mbps,
48Mbps, 54Mbps
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11-DATA-RATE 24000000
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER--6MBPS 20.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER--9MBPS 20.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-12MBPS 19.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-18MBPS 19.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-24MBPS 18.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-36MBPS 18.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-48MBPS 16.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-54MBPS 16.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY--6MBPS -85.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY--9MBPS -85.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-12MBPS -83.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-18MBPS -83.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-24MBPS -78.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-36MBPS -78.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-48MBPS -69.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-54MBPS -69.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY802.11-ESTIMATED-DIRECTIONAL-ANTENNA-GAIN 15.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY-RX-MODEL PHY802.11a
# Channels the radio is capable of listening to.
[ N8-192.0.1.0 ] PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 001000
# Channels the radio is currently listening to. Can be changed during run time.
[ N8-192.0.1.0 ] PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 001000
# Temperature of the environment in K
[ N8-192.0.1.0 ] PHY-TEMPERATURE 290.0
[ N8-192.0.1.0 ] PHY-NOISE-FACTOR 10.0
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-MODEL-CONFIG-FILE-SPECIFY NO
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-MODEL OMNIDIRECTIONAL
# antenna gain in dB
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-GAIN 0.0
# antenna height in meters
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-HEIGHT 1.5
# efficiency of the antenna
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-EFFICIENCY 0.8
# antenna mismatch loss in dB
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-MISMATCH-LOSS 0.3
# antenna cable loss in dB
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-CABLE-LOSS 0.0
# antenna connection loss in dB
[ N8-192.0.1.0 ] ANTENNA-CONNECTION-LOSS 0.2
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-PROTOCOL MACDOT11e
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-DIRECTIONAL-ANTENNA-MODE NO
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-SHORT-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 7
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-LONG-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 4
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-RTS-THRESHOLD 0
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-ASSOCIATION DYNAMIC
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-SCAN-TYPE PASSIVE
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-SSID NONE
[ N8-192.0.1.0 ] MAC-DOT11-STA-CHANNEL 2
# must be set to YES if nodes want to overhear packets destined to the neighboring node.
[ N8-192.0.1.0 ] PROMISCUOUS-MODE YES
[ N8-192.0.1.0 ] NETWORK-PROTOCOL IP

#-----Subnet ID 24 -----
SUBNET N8-192.0.2.0 { 1, 4, 22 thru 24 } 79.98 562.61 0.0
[ N8-192.0.2.0 ] NODE-ICON wireless-subnet.png
[ N8-192.0.2.0 ] PHY-MODEL PHY802.11a
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11-AUTO-RATE-FALLBACK NO
# bandwidth in bps. supported data rates: 6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 18Mbps, 24Mbps, 36Mbps,
48Mbps, 54Mbps
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11-DATA-RATE 18000000
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER--6MBPS 20.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER--9MBPS 20.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-12MBPS 19.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-18MBPS 19.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-24MBPS 18.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-36MBPS 18.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-48MBPS 16.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-TX-POWER-54MBPS 16.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY--6MBPS -85.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY--9MBPS -85.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-12MBPS -83.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-18MBPS -83.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-24MBPS -78.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-36MBPS -78.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-48MBPS -69.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11a-RX-SENSITIVITY-54MBPS -69.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY802.11-ESTIMATED-DIRECTIONAL-ANTENNA-GAIN 15.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY-RX-MODEL PHY802.11a
# Channels the radio is capable of listening to.
[ N8-192.0.2.0 ] PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 100000

```

```

# Channels the radio is currently listening to. Can be changed during run time.
[ N8-192.0.2.0 ] PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 100000
# Temperature of the environment in K
[ N8-192.0.2.0 ] PHY-TEMPERATURE 290.0
[ N8-192.0.2.0 ] PHY-NOISE-FACTOR 10.0
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-MODEL-CONFIG-FILE-SPECIFY NO
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-MODEL OMNIDIRECTIONAL
# antenna gain in dB
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-GAIN 8.0
# antenna height in meters
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-HEIGHT 1.5
# efficiency of the antenna
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-EFFICIENCY 0.8
# antenna mismatch loss in dB
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-MISMATCH-LOSS 0.3
# antenna cable loss in dB
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-CABLE-LOSS 0.0
# antenna connection loss in dB
[ N8-192.0.2.0 ] ANTENNA-CONNECTION-LOSS 0.2
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-PROTOCOL MACDOT11e
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-DIRECTIONAL-ANTENNA-MODE NO
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-SHORT-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 7
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-LONG-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 4
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-RTS-THRESHOLD 0
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-ASSOCIATION DYNAMIC
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-SCAN-TYPE PASSIVE
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-SSID NONE
[ N8-192.0.2.0 ] MAC-DOT11-STA-CHANNEL 0
# must be set to YES if nodes want to overhear packets destined to the neighboring node.
[ N8-192.0.2.0 ] PROMISCUOUS-MODE YES
[ N8-192.0.2.0 ] NETWORK-PROTOCOL IP

#-----Subnet ID 25 -----
SUBNET N8-192.0.3.0 { 12, 15, 25 thru 27 } 3394.42 984.92 0.0
[ N8-192.0.3.0 ] NODE-ICON wireless-subnet.png
[ N8-192.0.3.0 ] PHY-MODEL PHY802.16
# transmission power in dBm
[ N8-192.0.3.0 ] PHY802.16-TX-POWER 15.0
[ N8-192.0.3.0 ] PHY802.16-CHANNEL-BANDWIDTH 20000000
[ N8-192.0.3.0 ] PHY802.16-FFT-SIZE 2048
[ N8-192.0.3.0 ] PHY802.16-CYCLIC-PREFIX 8.0
[ N8-192.0.3.0 ] PHY-RX-MODEL PHY802.16
# Channels the radio is capable of listening to.
[ N8-192.0.3.0 ] PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 000100
# Channels the radio is currently listening to. Can be changed during run time.
[ N8-192.0.3.0 ] PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 000100
# Temperature of the environment in K
[ N8-192.0.3.0 ] PHY-TEMPERATURE 290.0
[ N8-192.0.3.0 ] PHY-NOISE-FACTOR 10.0
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-MODEL-CONFIG-FILE-SPECIFY NO
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-MODEL OMNIDIRECTIONAL
# antenna gain in dB
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-GAIN 10.0
# antenna height in meters
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-HEIGHT 1.5
# efficiency of the antenna
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-EFFICIENCY 0.8
# antenna mismatch loss in dB
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-MISMATCH-LOSS 0.3
# antenna cable loss in dB
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-CABLE-LOSS 0.0
# antenna connection loss in dB
[ N8-192.0.3.0 ] ANTENNA-CONNECTION-LOSS 0.2
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-PROTOCOL MAC802.16
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-STATION-TYPE SS
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-SS-WAIT-DCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-SS-WAIT-UCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-SERVICE-FLOW-TIMEOUT-INTERVAL 15S
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-PACKING-ENABLED NO
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-RANGING-TYPE NORMAL
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-CONTENTION-BASED-BWREQ-TYPE NORMAL
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-SUPPORT-MOBILITY NO
[ N8-192.0.3.0 ] MAC-802.16-ARQ-ENABLED NO
# must be set to YES if nodes want to overhear packets destined to the neighboring node.
[ N8-192.0.3.0 ] PROMISCUOUS-MODE YES
[ N8-192.0.3.0 ] NETWORK-PROTOCOL IP

#-----Subnet ID 26 -----
SUBNET N8-192.0.4.0 { 13, 15, 28 thru 30 } 2789.77 917.74 0.0
[ N8-192.0.4.0 ] NODE-ICON wireless-subnet.png
[ N8-192.0.4.0 ] PHY-MODEL PHY802.16
# transmission power in dBm
[ N8-192.0.4.0 ] PHY802.16-TX-POWER 15.0
[ N8-192.0.4.0 ] PHY802.16-CHANNEL-BANDWIDTH 14000000
[ N8-192.0.4.0 ] PHY802.16-FFT-SIZE 2048
[ N8-192.0.4.0 ] PHY802.16-CYCLIC-PREFIX 16.0
[ N8-192.0.4.0 ] PHY-RX-MODEL PHY802.16
# Channels the radio is capable of listening to.
[ N8-192.0.4.0 ] PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 000010
# Channels the radio is currently listening to. Can be changed during run time.

```

```

[ N8-192.0.4.0 ] PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 000010
# Temperature of the environment in K
[ N8-192.0.4.0 ] PHY-TEMPERATURE 290.0
[ N8-192.0.4.0 ] PHY-NOISE-FACTOR 10.0
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-MODEL-CONFIG-FILE-SPECIFY NO
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-MODEL OMNIDIRECTIONAL
# antenna gain in dB
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-GAIN 5.0
# antenna height in meters
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-HEIGHT 1.5
# efficiency of the antenna
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-EFFICIENCY 0.8
# antenna mismatch loss in dB
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-MISMATCH-LOSS 0.3
# antenna cable loss in dB
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-CABLE-LOSS 0.0
# antenna connection loss in dB
[ N8-192.0.4.0 ] ANTENNA-CONNECTION-LOSS 0.2
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-PROTOCOL MAC802.16
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-STATION-TYPE SS
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-SS-WAIT-DCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-SS-WAIT-UCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-SERVICE-FLOW-TIMEOUT-INTERVAL 15S
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-PACKING-ENABLED NO
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-RANGING-TYPE NORMAL
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-CONTENTION-BASED-BWREQ-TYPE NORMAL
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-SUPPORT-MOBILITY NO
[ N8-192.0.4.0 ] MAC-802.16-ARQ-ENABLED NO
# must be set to YES if nodes want to overhear packets destined to the neighboring node.
[ N8-192.0.4.0 ] PROMISCUOUS-MODE YES
[ N8-192.0.4.0 ] NETWORK-PROTOCOL IP

#-----Subnet ID 27 -----
SUBNET N8-192.0.5.0 { 14, 15, 31 thru 33 } 3298.45 482.64 0.0
[ N8-192.0.5.0 ] NODE-ICON wireless-subnet.png
[ N8-192.0.5.0 ] PHY-MODEL PHY802.16
# transmission power in dBm
[ N8-192.0.5.0 ] PHY802.16-TX-POWER 15.0
[ N8-192.0.5.0 ] PHY802.16-CHANNEL-BANDWIDTH 10000000
[ N8-192.0.5.0 ] PHY802.16-FFT-SIZE 1024
[ N8-192.0.5.0 ] PHY802.16-CYCLIC-PREFIX 16.0
[ N8-192.0.5.0 ] PHY-RX-MODEL PHY802.16
# Channels the radio is capable of listening to.
[ N8-192.0.5.0 ] PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 000001
# Channels the radio is currently listening to. Can be changed during run time.
[ N8-192.0.5.0 ] PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 000001
# Temperature of the environment in K
[ N8-192.0.5.0 ] PHY-TEMPERATURE 290.0
[ N8-192.0.5.0 ] PHY-NOISE-FACTOR 10.0
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-MODEL-CONFIG-FILE-SPECIFY NO
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-MODEL OMNIDIRECTIONAL
# antenna gain in dB
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-GAIN 5.0
# antenna height in meters
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-HEIGHT 1.5
# efficiency of the antenna
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-EFFICIENCY 0.8
# antenna mismatch loss in dB
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-MISMATCH-LOSS 0.3
# antenna cable loss in dB
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-CABLE-LOSS 0.0
# antenna connection loss in dB
[ N8-192.0.5.0 ] ANTENNA-CONNECTION-LOSS 0.2
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-PROTOCOL MAC802.16
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-STATION-TYPE SS
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-SS-WAIT-DCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-SS-WAIT-UCD-TIMEOUT-INTERVAL 25S
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-SERVICE-FLOW-TIMEOUT-INTERVAL 15S
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-PACKING-ENABLED NO
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-RANGING-TYPE NORMAL
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-CONTENTION-BASED-BWREQ-TYPE NORMAL
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-SUPPORT-MOBILITY NO
[ N8-192.0.5.0 ] MAC-802.16-ARQ-ENABLED NO
# must be set to YES if nodes want to overhear packets destined to the neighboring node.
[ N8-192.0.5.0 ] PROMISCUOUS-MODE YES
[ N8-192.0.5.0 ] NETWORK-PROTOCOL IP

LINK N8-192.0.6.0 { 2, 5 }
[ 192.0.6.1 192.0.6.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL MAC802.3
[ 192.0.6.1 192.0.6.2 ] LINK-BANDWIDTH 10000000000
[ 192.0.6.1 192.0.6.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 2US
[ 192.0.6.1 192.0.6.2 ] MAC802.3-MODE FULL-DUPLEX
[ 2 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 5 ] NETWORK-PROTOCOL[0] IP
[ 192.0.6.1 192.0.6.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.6.1 192.0.6.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.7.0 { 3, 5 }
[ 192.0.7.1 192.0.7.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL MAC802.3
[ 192.0.7.1 192.0.7.2 ] LINK-BANDWIDTH 10000000000

```

```

[ 192.0.7.1 192.0.7.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 2US
[ 192.0.7.1 192.0.7.2 ] MAC802.3-MODE FULL-DUPLEX
[ 3 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 5 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 192.0.7.1 192.0.7.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.7.1 192.0.7.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.8.0 { 4, 5 }
[ 192.0.8.1 192.0.8.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL MAC802.3
[ 192.0.8.1 192.0.8.2 ] LINK-BANDWIDTH 10000000000
[ 192.0.8.1 192.0.8.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 2US
[ 192.0.8.1 192.0.8.2 ] MAC802.3-MODE FULL-DUPLEX
[ 4 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 5 ] NETWORK-PROTOCOL[2] IP
[ 192.0.8.1 192.0.8.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.8.1 192.0.8.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.9.0 { 5, 6 }
[ 192.0.9.1 192.0.9.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.9.1 192.0.9.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.9.1 192.0.9.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 1MS
[ 192.0.9.1 192.0.9.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 5 ] NETWORK-PROTOCOL[3] IP
[ 6 ] NETWORK-PROTOCOL[0] IP
[ 192.0.9.1 192.0.9.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.9.1 192.0.9.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.10.0 { 5, 7 }
[ 192.0.10.1 192.0.10.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.10.1 192.0.10.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.10.1 192.0.10.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 100US
[ 192.0.10.1 192.0.10.2 ] LINK-BANDWIDTH 10000000000
[ 5 ] NETWORK-PROTOCOL[4] IP
[ 7 ] NETWORK-PROTOCOL[0] IP
[ 192.0.10.1 192.0.10.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.10.1 192.0.10.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.11.0 { 6, 8 }
[ 192.0.11.1 192.0.11.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.11.1 192.0.11.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.11.1 192.0.11.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 1MS
[ 192.0.11.1 192.0.11.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 6 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 8 ] NETWORK-PROTOCOL[0] IP
[ 192.0.11.1 192.0.11.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.11.1 192.0.11.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.12.0 { 7, 8 }
[ 192.0.12.1 192.0.12.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.12.1 192.0.12.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.12.1 192.0.12.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 250US
[ 192.0.12.1 192.0.12.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 7 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 8 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 192.0.12.1 192.0.12.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.12.1 192.0.12.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.13.0 { 7, 9 }
[ 192.0.13.1 192.0.13.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.13.1 192.0.13.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.13.1 192.0.13.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 500US
[ 192.0.13.1 192.0.13.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 7 ] NETWORK-PROTOCOL[2] IP
[ 9 ] NETWORK-PROTOCOL[0] IP
[ 192.0.13.1 192.0.13.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.13.1 192.0.13.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.14.0 { 8, 11 }
[ 192.0.14.1 192.0.14.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.14.1 192.0.14.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.14.1 192.0.14.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 250US
[ 192.0.14.1 192.0.14.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 8 ] NETWORK-PROTOCOL[2] IP
[ 11 ] NETWORK-PROTOCOL[0] IP
[ 192.0.14.1 192.0.14.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.14.1 192.0.14.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.15.0 { 5, 10 }
[ 192.0.15.1 192.0.15.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.15.1 192.0.15.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.15.1 192.0.15.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 2.5MS
[ 192.0.15.1 192.0.15.2 ] LINK-BANDWIDTH 100000000
[ 5 ] NETWORK-PROTOCOL[5] IP
[ 10 ] NETWORK-PROTOCOL[0] IP
[ 192.0.15.1 192.0.15.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.15.1 192.0.15.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.16.0 { 7, 10 }
[ 192.0.16.1 192.0.16.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.16.1 192.0.16.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED

```

```

[ 192.0.16.1 192.0.16.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 500US
[ 192.0.16.1 192.0.16.2 ] LINK-BANDWIDTH 100000000
[ 7 ] NETWORK-PROTOCOL[3] IP
[ 10 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 192.0.16.1 192.0.16.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.16.1 192.0.16.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.17.0 { 9, 10 }
[ 192.0.17.1 192.0.17.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.17.1 192.0.17.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.17.1 192.0.17.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 500US
[ 192.0.17.1 192.0.17.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 9 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 10 ] NETWORK-PROTOCOL[2] IP
[ 192.0.17.1 192.0.17.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.17.1 192.0.17.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.18.0 { 9, 11 }
[ 192.0.18.1 192.0.18.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.18.1 192.0.18.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.18.1 192.0.18.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 2MS
[ 192.0.18.1 192.0.18.2 ] LINK-BANDWIDTH 100000000
[ 9 ] NETWORK-PROTOCOL[2] IP
[ 11 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 192.0.18.1 192.0.18.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.18.1 192.0.18.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.19.0 { 10, 11 }
[ 192.0.19.1 192.0.19.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL ABSTRACT
[ 192.0.19.1 192.0.19.2 ] LINK-PHY-TYPE WIRED
[ 192.0.19.1 192.0.19.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 1MS
[ 192.0.19.1 192.0.19.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 10 ] NETWORK-PROTOCOL[3] IP
[ 11 ] NETWORK-PROTOCOL[2] IP
[ 192.0.19.1 192.0.19.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.19.1 192.0.19.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.20.0 { 11, 12 }
[ 192.0.20.1 192.0.20.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL MAC802.3
[ 192.0.20.1 192.0.20.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 192.0.20.1 192.0.20.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 1.5US
[ 192.0.20.1 192.0.20.2 ] MAC802.3-MODE FULL-DUPLEX
[ 11 ] NETWORK-PROTOCOL[3] IP
[ 12 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 192.0.20.1 192.0.20.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.20.1 192.0.20.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.21.0 { 11, 13 }
[ 192.0.21.1 192.0.21.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL MAC802.3
[ 192.0.21.1 192.0.21.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 192.0.21.1 192.0.21.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 1.5US
[ 192.0.21.1 192.0.21.2 ] MAC802.3-MODE FULL-DUPLEX
[ 11 ] NETWORK-PROTOCOL[4] IP
[ 13 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 192.0.21.1 192.0.21.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.21.1 192.0.21.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

LINK N8-192.0.22.0 { 11, 14 }
[ 192.0.22.1 192.0.22.2 ] LINK-MAC-PROTOCOL MAC802.3
[ 192.0.22.1 192.0.22.2 ] LINK-BANDWIDTH 1000000000
[ 192.0.22.1 192.0.22.2 ] LINK-PROPAGATION-DELAY 1.5US
[ 192.0.22.1 192.0.22.2 ] MAC802.3-MODE FULL-DUPLEX
[ 11 ] NETWORK-PROTOCOL[5] IP
[ 14 ] NETWORK-PROTOCOL[1] IP
[ 192.0.22.1 192.0.22.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-ID 0
[ 192.0.22.1 192.0.22.2 ] SWITCH-STATION-VLAN-TAGGING NO

```

Nodurile definite in scenariu

```

[1] HOSTNAME host1
[2] HOSTNAME host2
[3] HOSTNAME host3
[4] HOSTNAME host4
[5] HOSTNAME host5
[6] HOSTNAME host6
[7] HOSTNAME host7
[8] HOSTNAME host8
[9] HOSTNAME host9
[10] HOSTNAME host10
[11] HOSTNAME host11
[12] HOSTNAME host12
[13] HOSTNAME host13
[14] HOSTNAME host14
[15] HOSTNAME host15
[16] HOSTNAME host16
[17] HOSTNAME host17
[18] HOSTNAME host18
[19] HOSTNAME host19

```

```

[20] HOSTNAME host20
[21] HOSTNAME host21
[22] HOSTNAME host22
[23] HOSTNAME host23
[24] HOSTNAME host24
[25] HOSTNAME host25
[26] HOSTNAME host26
[27] HOSTNAME host27
[28] HOSTNAME host28
[29] HOSTNAME host29
[30] HOSTNAME host30
[31] HOSTNAME host31
[32] HOSTNAME host32
[33] HOSTNAME host33
# Setari specifice tehnicilor de acces la mediul de transmisie

[ 192.0.0.2 ] PHY-LISTENABLE-CHANNEL-MASK 010000
[ 192.0.0.2 ] PHY-LISTENING-CHANNEL-MASK 010000
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-PROTOCOL MACDOT11e
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-DIRECTIONAL-ANTENNA-MODE NO
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-SHORT-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 7
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-LONG-PACKET-TRANSMIT-LIMIT 4
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-RTS-THRESHOLD 0
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-ASSOCIATION DYNAMIC
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-AP YES
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-BEACON-INTERVAL 200
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-RELAY-FRAMES YES
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-SCAN-TYPE DISABLED
[ 192.0.0.2 192.0.1.2 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-SSID NONE
[ 192.0.0.2 ] MAC-DOT11-STA-CHANNEL 1
[ 192.0.1.2 ] MAC-DOT11-STA-CHANNEL 2
[ 192.0.2.2 ] MAC-DOT11-STA-CHANNEL 0
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-PROTOCOL MAC802.16
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-STATION-TYPE BS
[ 192.0.3.1 ] MAC-802.16-BS-FRAME-DURATION 8MS
[ 192.0.3.1 ] MAC-802.16-BS-TDD-DL-DURATION 4MS
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-DCD-BROADCAST-INTERVAL 5S
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-UCD-BROADCAST-INTERVAL 5S
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-RANGING-BACKOFF-MIN 3
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-RANGING-BACKOFF-MAX 15
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-BANDWIDTH-REQUEST-BACKOFF-MIN 3
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-BANDWIDTH-REQUEST-BACKOFF-MAX 15
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-SERVICE-FLOW-TIMEOUT-INTERVAL 15S
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-TTG 10US
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-RTG 10US
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-SSTG 4US
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-MAX-ALLOWED-UPLINK-LOAD-LEVEL 0.8
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-MAX-ALLOWED-DOWNLINK-LOAD-LEVEL 0.8
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-PACKING-ENABLED NO
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-ADMISSION-CONTROL-SCHEME NONE
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-RANGING-TYPE NORMAL
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-CONTENTION-BASED-BWREQ-TYPE NORMAL
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-SUPPORT-MOBILITY NO
[ 192.0.3.1 192.0.4.1 192.0.5.1 ] MAC-802.16-ARQ-ENABLED NO
[ 192.0.4.1 ] MAC-802.16-BS-FRAME-DURATION 5MS
[ 192.0.4.1 ] MAC-802.16-BS-TDD-DL-DURATION 2.5MS
[ 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-FRAME-DURATION 4MS
[ 192.0.5.1 ] MAC-802.16-BS-TDD-DL-DURATION 2MS

COMPONENT 0 {1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 N8-192.0.0.0 N8-192.0.1.0 N8-192.0.2.0 N8-
192.0.3.0 N8-192.0.4.0 N8-192.0.5.0 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
COMPONENT 0 { } 39 1750.0 750.0 0.0 3500.0 1500.0 3000.0

```

Anexa 6.4

Fişierul “.app” ce indică parametrii specifici aplicațiilor rulate în scenariile de test

```
# Configurarea aplicatiilor ce introduc un traffic redundant in retea
CBR 16 25 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 17 26 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 18 27 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 25 16 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 26 17 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 27 18 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 19 28 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 20 29 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 21 30 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 28 19 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 29 20 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 30 21 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 22 31 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 23 32 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 24 33 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 31 22 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 32 23 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0
CBR 33 24 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0

# Configurare dinamica a aplicatiei de test rulate in retea intre nodul sursa
#(SN, nod ID = 1) si nodul destinatie (DN, nod ID = 15)
CBR 1 15 0 1600 .000853s 100s 200s PRECEDENCE 6
```

Anexa 6.5

Fișierul “.nodes” ce indică locația nodurilor din scenariile analizate

```
# Identificarea nodurilor si indicarea locatiei prin coordonate
1 0 (300.0, 800.0, 0.0) 0 0
2 0 (300.0, 950.0, 0.0) 0 0
3 0 (350.0, 800.0, 0.0) 0 0
4 0 (300.0, 650.0, 0.0) 0 0
5 0 (867.0, 725.78, 0.0) 0 0
6 0 (1330.89, 1093.69, 0.0) 0 0
7 0 (1337.29, 728.97, 0.0) 0 0
8 0 (1810.78, 1103.29, 0.0) 0 0
9 0 (1833.17, 709.78, 0.0) 0 0
10 0 (1817.18, 332.27, 0.0) 0 0
11 0 (2290.67, 728.97, 0.0) 0 0
12 0 (3100.0, 1030.0, 0.0) 0 0
13 0 (2950.0, 700.0, 0.0) 0 0
14 0 (3100.0, 500.0, 0.0) 0 0
15 0 (3100.0, 700.0, 0.0) 0 0
16 0 (259.14, 1052.11, 0.0) 0 0
17 0 (303.93, 1048.91, 0.0) 0 0
18 0 (335.92, 1055.3, 0.0) 0 0
19 0 (371.12, 872.95, 0.0) 0 0
20 0 (406.31, 837.76, 0.0) 0 0
21 0 (415.91, 773.77, 0.0) 0 0
22 0 (257.76, 507.75, 0.0) 0 0
23 0 (308.95, 498.15, 0.0) 0 0
24 0 (350.54, 501.35, 0.0) 0 0
25 0 (3032.91, 1260.06, 0.0) 0 0
26 0 (3090.49, 1260.06, 0.0) 0 0
27 0 (3151.28, 1256.86, 0.0) 0 0
28 0 (2831.35, 744.98, 0.0) 0 0
29 0 (2853.75, 783.37, 0.0) 0 0
30 0 (2885.74, 799.36, 0.0) 0 0
31 0 (3053.27, 299.32, 0.0) 0 0
32 0 (3091.66, 292.92, 0.0) 0 0
33 0 (3142.85, 296.12, 0.0) 0 0
```

Anexa 6.6

Fișierul “.sh” ce automatizează procesul de rulare al scenariilor

```
# Configure dinamica a fisierului de intrare .config prin ajustari iterative ale
parametrilor aplicatiei de test setate în fișierul .app

PARAM=$1
TestName="final generic"
STAT=$1"/"

# Extragerea parametrilor de interes într-un fisier extern
LOG=$1"/rezultate"

# Baleiajul dimensiunii pachetului (scenariul 1)
ItemStartSize=200
ItemStopSize=1600
ItemStep=100

# Baleiajul debitului aplicatiei in kbps (scenariul 1)
DebitList="100 500 1000 2000 3500 5500 7000 9000 11000 15000"

# Baleiajul intervalului dintre pachete (scenariul 1)
IntervalStart=0.0001
IntervalStep=0.0003
IntervalStop=0.001

# Baleiajul intervalului dintre pachete (scenariul 2)
#IntervalList="0.01 0.005 0.0025 0.0016 0.00125 0.001 0.0005 0.00033 0.00025 0.0002"

# Baleiajul numarului de pachete emise (scenariul 2)
#NrPacheteList="100 200 400 625 800 1000 2000 3030 4000 5000"

# Indicarea nodului sursa si a nodului destinatie ce ruleaza aplicatia de test utilizand
modelul I-NAME QoS
NodS=1
CBRPort=2000
ISPort=3000
NodD=15
IDPort=4000

# Timpul de start al mecanismului I-NAME QoS si durata rularii aplicatiei de test
IStart=95s
CBRStart=100s
CBRStop=200s
Durata=100

# Modelarea cerințelor aplicației prin parametrii QoS conform modelului I-NAME QoS
JitterS=0.001s
JitterD=0.001s
DelayS=0.01s
DelayD=0.01s

# Ponderile parametrice QoS asociate conform modelului I-NAME QoS (primul set de analize)
TW=0
DW=1
JW=0

.....

# Ponderile parametrice QoS asociate conform modelului I-NAME QoS (al doilea set de analize)
TW=0.8
DW=0.2
JW=0

.....

# Aplicatiile de trafic redundant introdus in retea plasate in fisierul .app
StaticApp="
    CBR 16 25 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
    CBR 17 26 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
    CBR 18 27 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
    CBR 25 16 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
    CBR 26 17 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
    CBR 27 18 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
    CBR 19 28 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
    CBR 20 29 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
```

```

CBR 21 30 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 28 19 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 29 20 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 30 21 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 22 31 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 23 32 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 24 33 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 31 22 0 900 0.02s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 32 23 0 900 0.0256s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
CBR 33 24 0 900 0.032s 90S 201S PRECEDENCE 0\n
"

# Extragerea si salvarea parametrilor de interes analizei
mkdir $1

echo "## Scenariul a fost rulat cu urmatoorii parametri:" > $LOG
echo "## Ponderile parametrice QoS TW=$TW, DW=$DW, JW=$JW" >> $LOG
echo "## Parametrii QoS ai sursei si ai destinatiei InameStart=$IStart, DelayS=$DelayS, DelayD=$DelayD, JitterS=$JitterS, JitterD=$JitterD, debitul variaza" >> $LOG
echo "## CBR, NodS=$NodS, NodD=$NodD, Start=$CBRStart, Stop=$CBRStop" >> $LOG
echo "##" >> $LOG

#echo -e -n "DimPachet DistPachete Debit DebitE IntarziereE JitterE NrHopuri
DebitCalc IntarziereCalc JitterCacl DebitCBR IntarziereCBR
JitterCBR\n" > $LOG
printf "%12s\t%12s\t%12s\t%12s\t%12s\t%12s" DimPachet Debit-kbps NrPachete TotalP DebitE IntarE JitterE >> $LOG
printf "\t%8s\t%20s\t%12s\t%12s\t%12s\t%12s" NrHopuri Traseu DebitIname NrPachIname IntIname JittIname >> $LOG
printf "\t%12s\t%12s\t%12s\t%12s" DebCBR-BE NrPCBR-BE IntCBR-BE JittCBR-BE >> $LOG
printf "\t%12s\t%12s\t%12s\t%12s" DebCBRQoS-3 NrPCBRQoS-3 IntCBRQoS-3 JittCBRQoS-3 >> $LOG
printf "\t%12s\t%12s\t%12s\t%12s\n" DebCBRQoS-6 NrPCBRQoS-6 IntCBRQoS-6 JittCBRQoS-6 >> $LOG

# Variatia dimensiunii pachetului
for ((i = $ItemStartSize; i <= $ItemStopSize; i += $ItemStep)); do

    echo "" >> $LOG
    for j in $DebitList; do

# Rularea aplicatiei CBR cu parametrii modelului I-NAME QoS
STAT=$i-$j-kbps-cu-INAME
echo "$STAT"

# Rescrierea fisierului aplicatie cu parametrii aplicatiei de test *.app
echo -e $StaticApp > $TestName.app
echo -e "AppInameClient $NodS $ISPort $i $Bandwidth $DelayS $JitterS" >> $TestName.app
echo -e "AppInameClient $NodD $IDPort $i $Bandwidth $DelayD $JitterD" >> $TestName.app
echo -e "InameQuery $NodS $ISPort $NodD $IDPort $IStart $TW $DW $JW" >> $TestName.app
echo -e "CBR $NodS $NodD 0 $i $Interval$sec $CBRStart $CBRStop" >> $TestName.app

# Rularea fisierului de configurare
qualnet $TestName.config $STAT > /dev/null

# Rularea aplicatiei CBR fara prioritate (BE)
STAT=$i-$j-kbps-CBR-BE
echo "$STAT"
echo -e $StaticApp > $TestName.app
echo -e "CBR $NodS $NodD 0 $i $Interval$sec $CBRStart $CBRStop" >> $TestName.app

# Rularea aplicatiei CBR cu prioritate (IP Precedence = 3)
STAT=$i-$j-kbps-CBR-QoS-3
echo "$STAT"
Priority=3

echo -e $StaticApp > $TestName.app
echo -e "CBR $NodS $NodD 0 $i $Interval$sec $CBRStart $CBRStop PRECEDENCE $Priority" >> $TestName.app

# Rularea aplicatiei CBR cu prioritate (IP Precedence = 6)
STAT=$i-$j-kbps-CBR-QoS-6
echo "$STAT"
Priority=6

echo -e $StaticApp > $TestName.app
echo -e "CBR $NodS $NodD 0 $i $Interval$sec $CBRStart $CBRStop PRECEDENCE $Priority" >> $TestName.app

```

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimat	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
200	0.005	40000	200	40000	0.004641275	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.00285	70175	350	70175	0.005095746	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.002	100000	500	100000	0.005640225	0.004078	7	1-4-5-7-8-11-14-15
200	0.00166	120481	602	120481	0.005464739	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
200	0.00142	140845	704	140845	0.005439662	0.002227	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.00125	160000	800	160000	0.005267406	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.00111	180180	900	180180	0.004569906	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.001	200000	1000	200000	0.005452267	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.0009	222222	1111	222222	0.005407937	0.00019	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.0008	250000	1250	250000	0.005377937	0.00435	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.005	60000	200	60000	0.004648475	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.00285	105263	350	105263	0.005063026	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.002	150000	500	150000	0.005619505	0.004078	7	1-4-5-7-8-11-14-15
300	0.00166	180722	602	180722	0.005400019	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
300	0.00142	211267	704	211267	0.005357605	0.002229	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.00125	240000	800	240000	0.005202686	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.00111	270270	900	270270	0.004505186	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.001	300000	1000	300000	0.005452267	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.0009	333333	1111	333333	0.005415937	0.000238	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.0008	375000	1250	375000	0.005385937	0.004398	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.005	80000	200	80000	0.004655675	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.00285	140350	350	140350	0.005034306	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.002	200000	500	200000	0.005608023	0.004046	7	1-4-5-7-8-11-14-15
400	0.00166	240963	602	240963	0.005335299	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
400	0.00142	281690	704	281690	0.005286222	0.002227	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.00125	320000	800	320000	0.005137966	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.00111	360360	900	360360	0.005642799	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
400	0.001	400000	1000	400000	0.005454937	0.004152	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.0009	444444	1111	444444	0.00587727	0.002797	7	1-3-5-7-8-11-13-15
400	0.0008	500000	1250	500000	0.005394937	0.004452	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.005	100000	200	100000	0.004662875	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.00285	175438	350	175438	0.005001619	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.002	250000	500	250000	0.005598336	0.004056	7	1-4-5-7-8-11-14-15
500	0.00166	301204	602	301204	0.005270579	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
500	0.00142	352112	704	352112	0.006212002	0.004232	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.00125	400000	800	400000	0.005073246	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.00111	450450	900	450450	0.005578079	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
500	0.001	500000	1000	500000	0.005462937	0.0042	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.0009	555555	1111	555555	0.00588527	0.002845	7	1-3-5-7-8-11-13-15
500	0.0008	625000	1250	625000	0.005403275	0.004498	7	1-3-5-7-8-11-14-15

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimat	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
600	0.005	120000	200	120000	0.005672575	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.00285	210526	350	210526	0.004968979	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.002	300000	500	300000	0.005588696	0.004106	7	1-4-5-7-8-11-14-15
600	0.00166	361445	602	361445	0.005205859	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
600	0.00142	422535	704	422535	0.006135282	0.004232	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.00125	480000	800	480000	0.005008526	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.00111	540540	900	540540	0.005514736	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
600	0.001	600000	1000	600000	0.005470937	0.004248	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.0009	666666	1111	666666	0.00589327	0.002893	7	1-3-5-7-8-11-13-15
600	0.0008	750000	1250	750000	0.005427275	0.00445	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.005	140000	200	140000	0.005679805	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00285	245614	350	245614	0.004940339	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.002	350000	500	350000	0.005566824	0.004561	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00166	421686	602	421686	0.005141139	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
700	0.00142	492957	704	492957	0.006062562	0.004232	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00125	560000	800	560000	0.004943806	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00111	630630	900	630630	0.00676477	0.002632	7	1-3-5-7-8-11-13-15
700	0.001	700000	1000	700000	0.005479937	0.004302	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.0009	777777	1111	777777	0.00590227	0.002947	7	1-3-5-7-8-11-13-15
700	0.0008	875000	1250	875000	0.005454275	0.004396	7	1-3-5-7-8-11-14-15
800	0.005	160000	200	160000	0.005686975	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
800	0.00285	280701	350	280701	0.004907699	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
800	0.002	400000	500	400000	0.005534184	0.004561	7	1-3-5-7-8-11-14-15
800	0.00166	481927	602	481927	0.007581419	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.00142	563380	704	563380	0.006433175	0.002727	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.00125	640000	800	640000	0.006831419	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.00111	720720	900	720720	0.00677277	0.00268	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.001	800000	1000	800000	0.00644027	0.002845	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.0009	888888	1111	888888	0.005910608	0.002993	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.0008	1000000	1250	945000	0.005473761	0.004351	7	1-3-5-7-8-11-14-15
900	0.005	180000	200	180000	0.005694175	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
900	0.00285	315789	350	315789	0.005779966	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
900	0.002	450000	500	450000	0.007196377	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.00166	542168	602	542168	0.007516699	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.00142	633802	704	633802	0.007564555	0.000222	7	1-3-5-7-8-11-12-15
900	0.00125	720000	800	720000	0.008019199	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.00111	810810	900	810810	0.00678077	0.002728	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.001	900000	1000	900000	0.00644827	0.002893	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.0009	1000000	1111	1000000	0.005934608	0.002945	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.0008	1125000	1250	1125000	0.007883094	0.002846	7	1-3-5-7-8-11-13-15

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimata	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
1000	0.005	200000	200	200000	0.005701375	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1000	0.00285	350877	350	350877	0.005475246	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1000	0.002	500000	500	500000	0.007167737	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00166	602409	602	602409	0.007451979	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00142	704225	704	704225	0.007536235	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00125	800000	800	800000	0.007954479	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00111	900900	900	900900	0.00804227	0.005287	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.001	1000000	1000	1000000	0.00717037	0.000442	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1000	0.0009	1111111	1111	1111111	0.005961608	0.002891	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.0008	1250000	1250	1250000	0.007829094	0.002846	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.005	220000	200	220000	0.005708575	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1100	0.00285	385964	350	385964	0.006607859	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.002	550000	500	550000	0.007135097	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00166	662650	602	662650	0.008639759	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00142	774647	704	774647	0.007063515	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00125	880000	800	880000	0.007889759	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00111	990990	900	990990	0.00805027	0.005335	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.001	1100000	1000	1100000	0.007178708	0.000488	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1100	0.0009	1222222	1111	1222222	0.007233594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.0008	1375000	1250	1323360	0.009033594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.005	240000	200	240000	0.005715775	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1200	0.00285	421052	350	421052	0.006303139	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.002	600000	500	600000	0.007102457	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00166	722891	602	722891	0.008575039	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00142	845070	704	845070	0.006839856	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00125	960000	800	960000	0.007831209	0.005173	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00111	1081081	900	1081081	0.00805827	0.005383	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.001	1200000	1000	1200000	0.007202708	0.00044	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1200	0.0009	1333333	1111	1323360	0.007185594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.0008	1500000	1250	1323360	0.008985594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.005	260000	200	260000	0.005722975	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1300	0.00285	456140	350	456140	0.007250919	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.002	650000	500	650000	0.007073817	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00166	783132	602	783132	0.008510319	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00142	915492	704	915492	0.007317051	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00125	1040000	800	1040000	0.00780727	0.005227	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00111	1171171	900	1171171	0.00806727	0.005437	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.001	1300000	1000	1300000	0.007229708	0.000386	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1300	0.0009	1444444	1111	1323360	0.007131594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.0008	1625000	1250	1323360	0.008931594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimat	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
1400	0.005	280000	200	280000	0.005730175	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1400	0.00285	491228	350	491228	0.006946199	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.002	700000	500	700000	0.007041177	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.00166	843373	602	843373	0.008445599	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.00142	985915	704	985915	0.009210431	0.004227	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1400	0.00125	1120000	800	945000	0.008620437	0.000265	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1400	0.00111	1261261	900	1261261	0.00932777	0.00298	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.001	1400000	1000	1323360	0.007788594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.0009	1555555	1111	1323360	0.007083594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.0008	1750000	1250	1323360	0.008883594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.005	300000	200	300000	0.006404708	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00285	526315	350	526315	0.006641479	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.002	750000	500	750000	0.007008537	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00166	903614	602	903614	0.008380879	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00142	1056338	704	1056338	0.009145711	0.004227	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1500	0.00125	1200000	800	1200000	0.00907577	0.002818	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00111	1351351	900	1351351	0.011057708	0.00446	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1500	0.001	1500000	1000	1500000	0.009203694	0.004346	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1500	0.0009	1666666	1111	1323360	0.008288094	0.002846	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.0008	1875000	1250	1323360	0.010092594	0.002837	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1600	0.005	320000	200	320000	0.006411908	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1600	0.00285	561403	350	561403	0.008659426	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1600	0.002	800000	500	800000	0.008267981	0.002556	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1600	0.00166	963855	602	963855	0.009269259	0.004131	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.00142	1126760	704	1126760	0.009080991	0.004227	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.00125	1280000	800	1280000	0.01033727	0.000367	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1600	0.00111	1441441	900	1441441	0.011084708	0.004406	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.001	1600000	1000	1600000	0.009149694	0.004346	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.0009	1777777	1111	1777777	0.008947194	0.000341	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.0008	2000000	1250	1785600	0.010760694	0.000314	7	1-3-5-7-8-11-12-15

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul BE	Numarul de pachete transmise cu modelul BE	Intarzierea modelului BE	Jitterul modelului BE
320059	20000	0.005127766	0.001502279	320087	20000	0.012572496	0.003769242
561490	35088	0.005065338	0.001650458	561515	35088	0.012501947	0.003670338
132288	9920	0.005188465	0.002003966	189665	14221	0.01258562	0.002997366
81548	6091	0.018419797	0.002187521	274581	20588	0.012547063	0.002629472
1126933	70423	0.005090879	0.001834309	1126984	70423	0.012582541	0.002335853
1280187	80000	0.005109546	0.001720372	1280245	80000	0.012621197	0.002109336
1441725	90091	0.005116622	0.001605229	80902	6066	0.012653921	0.00190516
153963	11545	0.005163855	0.00149901	1600306	100000	0.012701954	0.001749911
844736	63345	0.005167802	0.001395699	1778133	111112	0.012761995	0.001597429
1377062	103263	0.00523862	0.001280673	2000383	125000	0.012902665	0.001439929
731999.1							
46187	2309	0.005206266	0.001499354	480130	20000	0.012701857	0.003768239
512262	25609	0.005121039	0.001651042	842273	35088	0.012618143	0.003670177
1200175	50000	0.005238101	0.002006223	1200230	50000	0.012698686	0.00300015
1452850	60241	0.007385423	0.002216685	1446061	60241	0.012694095	0.002631113
1690399	70423	0.005147878	0.00183435	1364393	68201	0.012726135	0.002335866
1920281	80000	0.005167992	0.001720561	1920368	80000	0.012784301	0.002109309
2162587	90091	0.005181518	0.001605205	2162598	90091	0.012822267	0.001911887
702077	35097	0.005220746	0.001500579	2400460	100000	0.012914219	0.001749913
1267105	63345	0.005253769	0.001395728	2667199	111112	0.013005009	0.001597427
3000439	125000	0.005342354	0.001280681	3000575	125000	0.01322377	0.001439935
1395436.2							
640119	20000	0.005235835	0.001504376	640174	20000	0.012836425	0.003770234
533526	20004	0.005167204	0.001650795	1123031	35088	0.012754885	0.003670342
37899	1421	0.00530632	0.001989414	1600306	50000	0.012848793	0.003000153
1937133	60241	0.007466925	0.002216795	95039	3563	0.012877409	0.002617577
2253866	70423	0.005201118	0.001834189	1819191	68201	0.012887037	0.002335874
2560375	80000	0.005229746	0.001720498	1389207	52081	0.012957595	0.002108994
602216	22578	0.006210478	0.001726482	1500437	56251	0.013020541	0.001911634
936102	35097	0.005287928	0.001500522	3200613	100000	0.013169978	0.00174994
3556310	111112	0.006305365	0.001476362	1619883	60729	0.013295396	0.001597114
2767781	103775	0.005455829	0.001280765	4000767	125000	0.013714623	0.001439929
76981	2309	0.005301784	0.001504568	800217	20000	0.012953371	0.00377124
1403782	35088	0.005214593	0.001650505	399842	11992	0.012893133	0.003666849
47374	1421	0.005405088	0.001992232	1037517	31117	0.012995455	0.002999742
2421417	60241	0.007560404	0.00221674	2410102	60241	0.012986886	0.002631172
2817446	70423	0.005252878	0.001834051	2817460	70423	0.013057411	0.002335896
307926	9236	0.005294152	0.001717435	3200613	80000	0.013144751	0.002109335
3604376	90091	0.006288157	0.001727928	3604331	90091	0.01326015	0.001911896
2016793	60492	0.005354855	0.001500859	2075035	62234	0.013461536	0.001749659
4445388	111112	0.006395544	0.001476379	2055196	61639	0.013715552	0.001597124
5000933	125000	0.005584429	0.001280649	2960811	88800	0.014466161	0.001439785

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul BE	Numarul de pachete transmise cu modelul BE	Intarzierea modelului BE	Jitterul modelului BE
960217	20000	0.005332877	0.001501471	960261	20000	0.013094347	0.003770233
800316	20004	0.005272847	0.00165116	1684547	35088	0.013006453	0.003670182
56849	1421	0.005402266	0.001989413	1245021	31117	0.01315737	0.002999629
2905700	60241	0.007654049	0.002216795	2892122	60241	0.013140196	0.002631181
3380935	70423	0.005313863	0.001834132	3380952	70423	0.013239056	0.0023359
3840717	80000	0.005348993	0.001720479	3840736	80000	0.013379244	0.002109312
4325252	90091	0.006349495	0.001727903	2250656	56251	0.013540719	0.001911595
4800896	100000	0.005440974	0.001501094	2490042	62234	0.013880222	0.001749667
1796926	44913	0.006503113	0.001475985	1282631	32057	0.014349962	0.00159654
6001120	125000	0.005754132	0.001280691	6000670	125000	0.016222074	0.001439953
107774	2309	0.005393828	0.001501933	1120394	20000	0.013210492	0.003767828
1145003	24531	0.005327935	0.001652136	368605	7896	0.013150064	0.00366394
747419	16013	0.005379748	0.002004851	1452621	31117	0.013318512	0.002999367
3389983	60241	0.007731559	0.002216685	3374413	60241	0.013321561	0.0026311
3944424	70423	0.005369779	0.001834254	3183798	68201	0.013434105	0.002335757
4480836	80000	0.00541596	0.001720699	427378	9155	0.013671659	0.002104342
1132402	24239	0.006816413	0.001724374	5046468	90091	0.013934799	0.00191184
443279	9497	0.005556324	0.00149816	5601523	100000	0.014504925	0.001749892
6223544	111112	0.006623247	0.001476429	1230926	26368	0.015924132	0.001596061
88077	1887	0.006153494	0.00126508	1265284	27104	0.018807829	0.001438615
123170	2309	0.005444192	0.001501933	1280450	20000	0.013358677	0.003767328
1067088	20004	0.005374279	0.001651445	421263	7896	0.013285999	0.003663936
3200597	50000	0.005423123	0.002005262	1742086	32653	0.013479431	0.002999452
3860661	60241	0.006494216	0.002218649	1815872	34036	0.013499722	0.002630332
4529100	70423	0.007902776	0.002031747	2145851	40221	0.013684818	0.002335354
2076477	38891	0.006666942	0.001873965	5121392	80000	0.013998617	0.002109278
5773077	90091	0.006604136	0.001727204	3020762	56620	0.014477643	0.001911506
550311	10316	0.006622269	0.001597479	6401740	100000	0.016040202	0.001749878
2395902	44913	0.00676358	0.001475908	6937085	108458	0.094799088	0.00162619
100659	1887	0.006478629	0.001265067	7471278	116894	0.182687504	0.001520544
138567	2309	0.005508449	0.001501979	1440507	20000	0.01348924	0.003768821
579473	9656	0.005430156	0.001648873	719765	11992	0.013414799	0.00366665
3600735	50000	0.006462507	0.002402551	3600979	50000	0.013638099	0.003000161
4343244	60241	0.006561747	0.002218759	2042856	34036	0.013721411	0.002630336
5072241	70423	0.009493329	0.002335745	951144	15847	0.013974406	0.002333228
408357	6778	0.025624839	0.001836103	5761566	80000	0.014457289	0.002109285
6494712	90091	0.006703901	0.001727254	2479204	41306	0.015755331	0.001911187
1000186	16666	0.006703039	0.001598619	6974765	96923	0.093819715	0.001788984
8001699	111112	0.006966334	0.001476415	5645943	94067	0.099991547	0.001667039
9001839	125000	0.007818571	0.001344254	7484837	104111	0.187258448	0.001674216

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul BE	Numarul de pachete transmise cu modelul BE	Intarzierea modelului BE	Jitterul modelului BE
153963	2309	0.005551866	0.001501997	1600563	20000	0.013618602	0.00376582
1333860	20004	0.005483931	0.001651729	526579	7896	0.013558883	0.003663946
4000817	50000	0.006515313	0.002402471	190398	2855	0.013886329	0.002980792
4825827	60241	0.006621294	0.002218759	4820590	60241	0.013950623	0.002631167
4126154	61638	0.008355381	0.002031416	2682314	40221	0.014296406	0.00233522
1923436	28733	0.011247458	0.001866881	6401740	80000	0.015326875	0.002109301
7216347	90091	0.006798216	0.001727229	6982945	87333	0.093543306	0.001952786
2340597	35097	0.009922561	0.001748889	3687723	55297	0.095904546	0.001863128
1796139	26936	0.007182044	0.001475605	4261318	63898	0.1413846	0.001751745
10002044	125000	0.00915035	0.001344265	6649532	99709	0.179844154	0.001739424
391676	5340	0.005589287	0.00150137	1760619	20000	0.013716324	0.00376282
602863	8219	0.006529843	0.002454036	3088583	35088	0.013684454	0.003670118
4400899	50000	0.006572527	0.002402631	216920	2957	0.014084459	0.002981521
5308409	60241	0.006681839	0.002218869	994445	13556	0.014223974	0.002627917
1384575	18803	0.01278356	0.002022672	612321	8347	0.014851021	0.002330296
499104	6778	0.027290897	0.001836545	5040597	68712	0.09192696	0.002139359
5734685	78114	0.006923353	0.001727003	7312217	83144	0.094810199	0.002022218
8803098	100000	0.010072832	0.001749818	5016242	68380	0.136195535	0.001924647
9779855	111112	0.007630865	0.001476365	8133001	92536	0.173976282	0.001849929
3841863	52375	0.051864321	0.001353243	6788213	92535	0.176206016	0.001849086
184756	2309	0.005642174	0.001493287	1920676	20000	0.01383367	0.003766316
2215941	27693	0.006583616	0.00245708	3369364	35088	0.013821652	0.003670289
4800981	50000	0.006628138	0.002402552	236640	2957	0.014257823	0.002981587
5790992	60241	0.00674255	0.00221887	1084849	13556	0.014546004	0.002627947
6793650	70423	0.008373164	0.002031749	702639	8780	0.016236425	0.002330604
741928	9236	0.022610027	0.001847105	1001781	12518	0.08707978	0.002170248
6433416	80329	0.007064373	0.001727009	1149991	14370	0.094738976	0.002064788
1546687	19327	0.010236945	0.001747745	3615712	45181	0.132665592	0.00201289
2319341	28984	0.008338776	0.001475455	6775508	84665	0.172971243	0.00198876
11519750	120039	0.0706424	0.001389822	7995541	83391	0.174659576	0.002012418
200152	2309	0.005687327	0.001493376	1331220	15355	0.013965278	0.003763645
712474	8219	0.006630421	0.002453342	3650144	35088	0.013988756	0.003670289
5201063	50000	0.006675332	0.002402792	2697725	31117	0.014410983	0.002999381
6273575	60241	0.006795277	0.002218814	6266767	60241	0.015005707	0.002631126
7359787	70423	0.008492042	0.002031709	697991	8051	0.086393447	0.002383
1516658	17428	0.015589154	0.001860659	2803061	32332	0.094486375	0.002284608
9381251	90091	0.007186989	0.00172728	3847751	44382	0.152959803	0.002203494
1142916	13183	0.010637547	0.001746577	7968295	76714	0.17102094	0.002148584
3262227	37631	0.010841687	0.001475684	6650986	76716	0.172746811	0.002148456
11996735	115399	0.069742892	0.001432471	7686392	74000	0.175606962	0.002207449

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul BE	Numarul de pachete transmise cu modelul BE	Intarzierea modelului BE	Jitterul modelului BE
1362652	14597	0.005733634	0.001501151	2240788	20000	0.014101204	0.003765316
2585264	27693	0.006679861	0.002457696	3930924	35088	0.014141477	0.003670287
5601144	50000	0.006722025	0.002402472	276080	2957	0.014775209	0.002981683
6756158	60241	0.006854242	0.002218869	620598	6647	0.016076335	0.002623866
7890153	70423	0.009812487	0.002335748	7184246	64179	0.09373178	0.002476539
8961673	80000	0.005970593	0.001720857	1426992	15284	0.09505459	0.002371836
10135906	90059	0.009291708	0.001725456	2621506	28078	0.117518807	0.00224416
8399963	89983	0.008077164	0.00160055	8268154	73921	0.167550094	0.002214777
6596514	70658	0.042714559	0.001493733	6415399	68713	0.173754404	0.002328122
12575704	112322	0.067541929	0.001464385	6895296	73853	0.168222942	0.002214752
7086513.1							
333361	3333	0.006810051	0.000255756	1536023	15355	0.014225583	0.003767593
822086	8219	0.006732827	0.002454033	789869	7896	0.014313624	0.003663965
6001226	50000	0.006777035	0.002402711	295800	2957	0.015029839	0.002981817
7238740	60241	0.00692618	0.00221898	648520	6483	0.084533572	0.002665733
8453735	70423	0.009886305	0.002335749	3584821	35836	0.094132353	0.002529731
1798289	17909	0.016273688	0.001862512	763060	7628	0.097559485	0.002439325
4713306	47117	0.010570248	0.001911283	8066249	67292	0.160524533	0.002368958
2875779	28748	0.012310562	0.001748604	8067355	67312	0.168847468	0.002365328
12979929	108209	0.062554771	0.001506444	8353198	69697	0.166093416	0.00231984
12856214	107183	0.066025227	0.001517281	8353078	69696	0.166174692	0.002320369
355585	3333	0.00684763	0.000252005	2560901	20000	0.01434591	0.003763816
1313856	12315	0.005799499	0.001653037	4492485	35088	0.014482532	0.00367013
6401195	50000	0.00584313	0.002005742	588680	5517	0.015357371	0.002990855
1729442	16208	0.009882172	0.002628447	7156533	55940	0.09314519	0.002733864
9017318	70423	0.009965924	0.00233579	576303	5401	0.092574595	0.002538587
2243934	21033	0.007201346	0.00187467	7693063	60182	0.165894668	0.00256584
5106273	47855	0.010986462	0.001911298	8329939	65159	0.163391008	0.002432682
445165	4172	0.016150934	0.001738431	6656668	62385	0.168198672	0.002501805
13099448	102369	0.067367985	0.001715941	8358477	65377	0.164495731	0.002430741
13414250	104678	0.066892449	0.001682018	8358477	65377	0.1645717	0.002428272

Debitul sursei cu modelul QoS [IP =3]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =3]	Intarzierea modelului QoS [IP =3]	Jitterul modelului QoS [IP =3]	Debitul sursei cu modelul QoS [IP =6]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =6]	Intarzierea modelului QoS [IP =6]	Jitterul modelului QoS [IP =6]
320087	20000	0.012148366	0.003755243	320087	20000	0.01211913	0.003755243
126394	9477	0.012200652	0.003665474	29594	2219	0.012213565	0.003644411
800153	50000	0.012191332	0.003000148	210150	15757	0.012167545	0.002997701
964040	60241	0.012203052	0.002631107	666195	49951	0.012182571	0.002630928
51694	3876	0.012246573	0.002323977	405631	30414	0.012189519	0.002334944
465167	34878	0.012218337	0.002108554	371208	27833	0.012198138	0.002108216
68592	5143	0.01226044	0.00190388	427863	32081	0.012215487	0.001911011
1600306	100000	0.012220153	0.001749922	1600306	100000	0.012179782	0.001749901
640002	47987	0.012245607	0.001596933	93719	7027	0.01222841	0.001592082
2000383	125000	0.012271862	0.001439912	375142	28128	0.012246578	0.001438848
		0.012220637					
480130	20000	0.012277327	0.003755243	480130	20000	0.012251295	0.003755243
44392	2219	0.012379613	0.003644415	639555	31969	0.012299228	0.003670004
1200230	50000	0.012311963	0.003000148	1200230	50000	0.012290016	0.003000148
1446061	60241	0.012332162	0.002631107	411872	20588	0.012317517	0.002629464
77541	3876	0.012376766	0.002324004	77541	3876	0.012349901	0.002324001
94645	4731	0.0124809	0.002101802	104488	5223	0.012357122	0.002101094
1505512	75255	0.012358687	0.001911789	2162598	90091	0.012333884	0.001911884
630452	31514	0.012378975	0.001748986	1318761	65920	0.012339323	0.001749686
1847686	92359	0.012396462	0.001597325	2667199	111112	0.012367017	0.0015974
168386	8417	0.012450575	0.001435685	562714	28128	0.012401208	0.001438859
640174	20000	0.012405087	0.003755243	640174	20000	0.012386664	0.003755243
1123031	35088	0.012451725	0.003670338	252789	9477	0.012430547	0.003665474
1600306	50000	0.012450856	0.003000148	455804	17088	0.012430793	0.002998021
549163	20588	0.012471196	0.002629628	88450	3316	0.012489528	0.0026164
2253968	70423	0.01248643	0.002335851	1561441	58538	0.0124637	0.00233571
742416	27833	0.01251269	0.002108227	126194	4731	0.012514761	0.00210017
1569336	58834	0.012496179	0.001911666	2883465	90091	0.012465382	0.001911933
600244	22503	0.012550033	0.001748663	856981	32128	0.012504193	0.00174902
1935517	72562	0.012556564	0.001597212	1280004	47987	0.012530039	0.001596929
1439967	53984	0.012596597	0.001439539	483999	18145	0.012657773	0.001438468
800217	20000	0.012538053	0.003755243	800217	20000	0.012508015	0.003755243
1403789	35088	0.012574998	0.00367034	73986	2219	0.012628684	0.003644433
2000383	50000	0.01255755	0.003000148	525377	15757	0.012554904	0.002997767
114698	3440	0.012648121	0.00261706	1830034	54886	0.012574856	0.002631027
1956602	58682	0.012621696	0.00233571	2817460	70423	0.012597442	0.002335852
3200613	80000	0.012645427	0.002109298	174147	5223	0.012648506	0.002101106
1057356	31712	0.012653098	0.001911004	1057356	31712	0.012616978	0.001911005
750305	22503	0.01267604	0.00174848	750305	22503	0.012642937	0.001748471
3610589	108288	0.012716397	0.001597396	2199369	65963	0.012672171	0.001597165
5000959	125000	0.012772968	0.001439904	5000959	125000	0.01271049	0.001439904

Debitul sursei cu modelul QoS [IP =3]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =3]	Intarzierea modelului QoS [IP =3]	Jitterul modelului QoS [IP =3]	Debitul sursei cu modelul QoS [IP =6]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =6]	Intarzierea modelului QoS [IP =6]	Jitterul modelului QoS [IP =6]
960261	20000	0.012662608	0.003755241	960261	20000	0.012634974	0.003755241
442441	11058	0.012708567	0.003666919	1279110	31969	0.012684833	0.003670004
2400460	50000	0.012637489	0.003000148	2400460	50000	0.012612338	0.003000147
2892122	60241	0.012727602	0.002631167	2892122	60241	0.012706461	0.002631169
1840104	45990	0.01276618	0.002335492	1672778	41808	0.012745637	0.002335386
2090372	52245	0.012725111	0.002108997	202415	5059	0.012723854	0.002100852
2176836	54406	0.012799392	0.001911612	818504	20457	0.012781456	0.001910256
4800920	100000	0.012823626	0.001749907	1383819	34586	0.012786437	0.001749118
5334399	111112	0.012873662	0.001597406	3740905	93497	0.012841611	0.001597337
4382640	109536	0.01297906	0.001439861	275355	6882	0.012987435	0.001434748
1120304	20000	0.012796375	0.003755236	1120304	20000	0.012749917	0.003755236
1965304	35088	0.012819946	0.00367018	103581	2219	0.01282361	0.003644481
2800537	50000	0.012810986	0.003000148	2800537	50000	0.0127743	0.003000148
632786	13556	0.012889171	0.002628182	2331685	49951	0.012848374	0.002630939
3944444	70423	0.012918874	0.002335854	2146788	45990	0.012900638	0.002335492
4480859	80000	0.012894238	0.002109302	83182	1782	0.013000836	0.002084202
1824793	39092	0.012954575	0.001911262	3547312	75993	0.012922609	0.001911826
5601074	100000	0.013027881	0.001749905	4253012	91111	0.013010741	0.001749867
2409920	51627	0.013130753	0.001597032	6223465	111112	0.013084668	0.001597408
380904	8160	0.013321402	0.001435609	297301	6369	0.013247824	0.00143424
1280450	20000	0.012966187	0.003755331	1280450	20000	0.012932145	0.003755331
2246242	35088	0.012955318	0.003670114	589961	11058	0.012936741	0.003666199
3200870	50000	0.012988968	0.003000068	3200870	50000	0.012954045	0.003000068
723233	13556	0.013033346	0.002627836	723233	13556	0.013012665	0.002627835
1322530	24789	0.013017929	0.002334404	1622632	30414	0.012990414	0.002334794
51377	963	0.013509209	0.002057583	51377	963	0.013426031	0.002057263
4389015	82266	0.013152681	0.001911804	313813	5882	0.013173296	0.001904028
2588188	48512	0.013261424	0.001749357	6401740	100000	0.013217958	0.001749848
7113102	111112	0.013383334	0.001597371	7113102	111112	0.013333304	0.001597354
5038143	94433	0.013543109	0.001439744	2429521	45538	0.013461563	0.001439251
1440507	20000	0.013137201	0.003755324	1440507	20000	0.013103959	0.003755324
2527023	35088	0.013094114	0.003670114	719765	11992	0.013071475	0.003666647
3600979	50000	0.013138755	0.003000071	3600979	50000	0.013111041	0.003000068
813637	13556	0.013192293	0.002627857	813637	13556	0.013171021	0.002627857
5071835	70423	0.013195948	0.002335782	2509335	41808	0.013170393	0.002335273
57799	963	0.0136922	0.002057513	57799	963	0.013642293	0.00205745
3376210	56251	0.013388639	0.001911496	4937642	82266	0.013346442	0.001911776
1756258	29261	0.013505714	0.001748708	441090	7349	0.013519633	0.001743968
8002239	111112	0.013602125	0.001597355	3672291	61184	0.013534151	0.001597019
9002447	125000	0.014059566	0.00143986	3393796	56544	0.013789305	0.001439442

Debitul sursei cu modelul QoS [IP =3]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =3]	Intarzierea modelului QoS [IP =3]	Jitterul modelului QoS [IP =3]	Debitul sursei cu modelul QoS [IP =6]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =6]	Intarzierea modelului QoS [IP =6]	Jitterul modelului QoS [IP =6]
1600563	20000	0.013299003	0.00375532	1600563	20000	0.013273771	0.003755321
799739	11992	0.013249148	0.003667126	2807803	35088	0.01321031	0.003670115
4001087	50000	0.013298314	0.003000077	1050824	15757	0.013264046	0.002997513
904041	13556	0.013381376	0.002627849	904041	13556	0.013348877	0.002627849
2788150	41808	0.013364857	0.002335273	3923070	58826	0.013315671	0.002335637
129777	1946	0.013690236	0.002084034	64221	963	0.013833601	0.002057544
7209240	90091	0.013596319	0.001911831	675296	10126	0.013610183	0.001907552
2975747	44621	0.013688623	0.001749272	2975747	44621	0.013644463	0.001749272
1500644	22502	0.013973344	0.001595765	392667	5888	0.01391392	0.001590117
9401025	117575	0.094070571	0.001520171	9401025	117575	0.093905643	0.001520566
1760619	20000	0.013422757	0.00375532	1760619	20000	0.013406337	0.00375532
1970918	26867	0.013377947	0.003669565	1970918	26867	0.013350221	0.003669567
4401196	50000	0.013435926	0.003000077	1155907	15757	0.013421125	0.002997513
2496824	34036	0.013432886	0.002630333	2496824	34036	0.013404174	0.002630333
6198909	70423	0.013543086	0.002335786	3066965	41808	0.013514105	0.002335274
2570622	35042	0.013698249	0.002108428	70644	963	0.013975003	0.002057643
3030139	41306	0.01377135	0.001911201	5439373	74148	0.013719045	0.001911716
8802393	100000	0.013962328	0.001749855	2311814	31514	0.013891811	0.001748842
9452798	107475	0.093803077	0.00164548	1601779	21835	0.089916405	0.001640884
7858144	107120	0.095848419	0.001652344	9452798	107475	0.094656045	0.001644756
1920676	20000	0.013538502	0.00375532	1920676	20000	0.013511268	0.00375532
2150092	26867	0.013517475	0.003669568	758418	9477	0.013509873	0.003665285
4801305	50000	0.013578024	0.003000007	2613130	32653	0.013549343	0.002999449
1084849	13556	0.013629546	0.002627864	2723808	34036	0.013601153	0.002630337
3380351	42240	0.013764326	0.002335288	2433949	30414	0.013736792	0.002334813
339475	4242	0.013946287	0.002097974	77066	963	0.014124723	0.002057757
322990	4036	0.014092759	0.001900403	337795	4221	0.014033266	0.001900879
1171359	14637	0.074651544	0.001759447	895745	11193	0.068291504	0.001757325
9496191	98971	0.093770295	0.001766163	9496191	98971	0.093596294	0.001765628
9496434	99029	0.155702248	0.00176487	9496191	98971	0.093736321	0.001766213
2080732	20000	0.013662256	0.00375532	2080732	20000	0.013645035	0.00375532
821619	9477	0.013660319	0.003665286	192378	2219	0.013668288	0.003643505
5201414	50000	0.01371916	0.003000079	5201414	50000	0.01369497	0.003000079
1838393	21205	0.013819542	0.002629361	1175253	13556	0.01378613	0.002627897
3662047	42240	0.013934235	0.002335296	3662047	42240	0.013913565	0.002335303
83488	963	0.014374256	0.002058028	168710	1946	0.014241799	0.002084235
3565121	41122	0.014644007	0.001911353	3501139	40384	0.014248716	0.001911182
9533211	91714	0.093505421	0.001884117	118166	1363	0.068374283	0.001802138
9533419	91716	0.094186483	0.001883444	9533315	91715	0.093742774	0.001883812
9533239	91773	0.156537973	0.00188258	7956024	91769	0.153198049	0.001883649

Debitul sursei cu modelul QoS [IP =3]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =3]	Intarzierea modelului QoS [IP =3]	Jitterul modelului QoS [IP =3]	Debitul sursei cu modelul QoS [IP =6]	Numarul de pachete transmise cu QoS [IP =6]	Intarzierea modelului QoS [IP =6]	Jitterul modelului QoS [IP =6]
2240788	20000	0.013768389	0.00375532	2240788	20000	0.013745961	0.00375532
1408133	15082	0.013807105	0.003667743	1408133	15082	0.013784799	0.003667743
5601523	50000	0.013861898	0.003000078	5601523	50000	0.013846679	0.003000078
3177776	34036	0.013994405	0.002630436	3177776	34036	0.013959574	0.002630437
3943743	42240	0.014095421	0.002335301	3943743	42240	0.014062994	0.002335296
197000	2110	0.01441956	0.002086316	105222	1127	0.014481161	0.00206542
379996	4070	0.081178625	0.001968472	1653216	17707	0.090927281	0.001994348
9565338	85450	0.094003344	0.001997652	9565338	85450	0.093825484	0.001999326
9565033	85502	0.139962685	0.001997332	7978052	85450	0.093931675	0.002000001
9565033	85502	0.155485582	0.0019972	9565575	85500	0.152792968	0.001995993
2400845	20000	0.013886937	0.00375532	2400845	20000	0.013864909	0.00375532
2687615	26867	0.013940231	0.003669576	1106176	11058	0.013934912	0.003666227
1576237	15757	0.01404639	0.002997528	2969411	29684	0.014010259	0.002999279
3404760	34036	0.014144551	0.002630341	3404760	34036	0.014107838	0.002630341
834984	8347	0.014290599	0.002330269	488866	4887	0.014306306	0.002325877
4865658	48640	0.045209072	0.002109697	211071	2110	0.016264517	0.002087184
9593484	79988	0.09440869	0.002110361	9593484	79988	0.09431912	0.002111254
9593364	79987	0.094893724	0.002110941	8001426	79987	0.094558403	0.002112451
9593216	80037	0.155082032	0.002108944	8006228	80035	0.151219925	0.002107977
9593097	80036	0.155457091	0.002109844	9593744	80035	0.152912626	0.002108426
2560901	20000	0.014018701	0.003755319	2560901	20000	0.014004283	0.00375532
1179922	11058	0.014018214	0.00366623	1179922	11058	0.014000105	0.00366623
6401740	50000	0.014180696	0.003000088	6401740	50000	0.014152981	0.003000088
3631744	34036	0.014291873	0.002630345	3631744	34036	0.014257043	0.002630345
4507135	42240	0.014481699	0.002335308	4491770	42096	0.014425173	0.002335298
9617823	75179	0.09398378	0.002218473	217887	2042	0.07513311	0.002171678
9618079	75181	0.094606818	0.002218966	8022040	75181	0.094450326	0.002218958
9617951	75180	0.096432729	0.002218711	8021933	75180	0.094561654	0.002219749
8026628	75224	0.154158979	0.002218216	8026628	75224	0.151730188	0.002215732
8026628	75224	0.154298547	0.002218598	8026628	75224	0.151985345	0.002214973

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimat	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
200	0.005	40000	200	40000	0.004641275	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.00285	70175	350	70175	0.005095746	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.002	100000	500	100000	0.005640225	0.004078	7	1-4-5-7-8-11-14-15
200	0.00166	120481	602	120481	0.005464739	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
200	0.00142	140845	704	140845	0.005439662	0.002227	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.00125	160000	800	160000	0.005267406	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.00111	180180	900	180180	0.004569906	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.001	200000	1000	200000	0.005452267	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.0009	222222	1111	222222	0.005407937	0.00019	7	1-3-5-7-8-11-14-15
200	0.0008	250000	1250	250000	0.005377937	0.00435	7	1-3-5-7-8-11-14-15
					0.00523571			
300	0.005	60000	200	60000	0.004648475	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.00285	105263	350	105263	0.005063026	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.002	150000	500	150000	0.005619505	0.004078	7	1-4-5-7-8-11-14-15
300	0.00166	180722	602	180722	0.005400019	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
300	0.00142	211267	704	211267	0.005357605	0.002229	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.00125	240000	800	240000	0.005202686	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.00111	270270	900	270270	0.004505186	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.001	300000	1000	300000	0.005452267	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.0009	333333	1111	333333	0.005415937	0.000238	7	1-3-5-7-8-11-14-15
300	0.0008	375000	1250	375000	0.005385937	0.004398	7	1-3-5-7-8-11-14-15
					0.005205064			
400	0.005	80000	200	80000	0.004655675	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.00285	140350	350	140350	0.005034306	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.002	200000	500	200000	0.005608023	0.004046	7	1-4-5-7-8-11-14-15
400	0.00166	240963	602	240963	0.005335299	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
400	0.00142	281690	704	281690	0.005286222	0.002227	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.00125	320000	800	320000	0.005137966	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.00111	360360	900	360360	0.005642799	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
400	0.001	400000	1000	400000	0.005454937	0.004152	7	1-3-5-7-8-11-14-15
400	0.0009	444444	1111	444444	0.00587727	0.002797	7	1-3-5-7-8-11-13-15
400	0.0008	500000	1250	500000	0.005394937	0.004452	7	1-3-5-7-8-11-14-15
					0.005342743			
500	0.005	100000	200	100000	0.004662875	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.00285	175438	350	175438	0.005001619	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.002	250000	500	250000	0.005598336	0.004056	7	1-4-5-7-8-11-14-15
500	0.00166	301204	602	301204	0.005270579	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
500	0.00142	352112	704	352112	0.006212002	0.004232	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.00125	400000	800	400000	0.005073246	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.00111	450450	900	450450	0.005578079	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
500	0.001	500000	1000	500000	0.005462937	0.0042	7	1-3-5-7-8-11-14-15
500	0.0009	555555	1111	555555	0.00588527	0.002845	7	1-3-5-7-8-11-13-15
500	0.0008	625000	1250	625000	0.005403275	0.004498	7	1-3-5-7-8-11-14-15
					0.005414822			

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimat	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
600	0.005	120000	200	120000	0.005672575	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.00285	210526	350	210526	0.004968979	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.002	300000	500	300000	0.005588696	0.004106	7	1-4-5-7-8-11-14-15
600	0.00166	361445	602	361445	0.005205859	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
600	0.00142	422535	704	422535	0.006135282	0.004232	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.00125	480000	800	480000	0.005008526	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.00111	540540	900	540540	0.005514736	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
600	0.001	600000	1000	600000	0.005470937	0.004248	7	1-3-5-7-8-11-14-15
600	0.0009	666666	1111	666666	0.00589327	0.002893	7	1-3-5-7-8-11-13-15
600	0.0008	750000	1250	750000	0.005427275	0.00445	7	1-3-5-7-8-11-14-15
					0.005488614			
700	0.005	140000	200	140000	0.005679805	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00285	245614	350	245614	0.004940339	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.002	350000	500	350000	0.005566824	0.004561	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00166	421686	602	421686	0.005141139	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
700	0.00142	492957	704	492957	0.006062562	0.004232	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00125	560000	800	560000	0.004943806	0.004136	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.00111	630630	900	630630	0.00676477	0.002632	7	1-3-5-7-8-11-13-15
700	0.001	700000	1000	700000	0.005479937	0.004302	7	1-3-5-7-8-11-14-15
700	0.0009	777777	1111	777777	0.00590227	0.002947	7	1-3-5-7-8-11-13-15
700	0.0008	875000	1250	875000	0.005454275	0.004396	7	1-3-5-7-8-11-14-15
					0.005593573			
800	0.005	160000	200	160000	0.005686975	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
800	0.00285	280701	350	280701	0.004907699	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
800	0.002	400000	500	400000	0.005534184	0.004561	7	1-3-5-7-8-11-14-15
800	0.00166	481927	602	481927	0.007581419	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.00142	563380	704	563380	0.006433175	0.002727	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.00125	640000	800	640000	0.006831419	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.00111	720720	900	720720	0.00677277	0.00268	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.001	800000	1000	800000	0.00644027	0.002845	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.0009	888888	1111	888888	0.005910608	0.002993	7	1-3-5-7-8-11-13-15
800	0.0008	1000000	1250	945000	0.005473761	0.004351	7	1-3-5-7-8-11-14-15
					0.006157228			
900	0.005	180000	200	180000	0.005694175	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
900	0.00285	315789	350	315789	0.005779966	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
900	0.002	450000	500	450000	0.007196377	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.00166	542168	602	542168	0.007516699	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.00142	633802	704	633802	0.007564555	0.000222	7	1-3-5-7-8-11-12-15
900	0.00125	720000	800	720000	0.008019199	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.00111	810810	900	810810	0.00678077	0.002728	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.001	900000	1000	900000	0.00644827	0.002893	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.0009	1000000	1111	1000000	0.005934608	0.002945	7	1-3-5-7-8-11-13-15
900	0.0008	1125000	1250	1125000	0.007883094	0.002846	7	1-3-5-7-8-11-13-15
					0.006881771			

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimat	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
1000	0.005	200000	200	200000	0.005701375	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1000	0.00285	350877	350	350877	0.005475246	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1000	0.002	500000	500	500000	0.007167737	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00166	602409	602	602409	0.007451979	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00142	704225	704	704225	0.007536235	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00125	800000	800	800000	0.007954479	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.00111	900900	900	900900	0.00804227	0.005287	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.001	1000000	1000	1000000	0.00717037	0.000442	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1000	0.0009	1111111	1111	1111111	0.005961608	0.002891	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1000	0.0008	1250000	1250	1250000	0.007829094	0.002846	7	1-3-5-7-8-11-13-15
					0.007029039			
1100	0.005	220000	200	220000	0.005708575	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1100	0.00285	385964	350	385964	0.006607859	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.002	550000	500	550000	0.007135097	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00166	662650	602	662650	0.008639759	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00142	774647	704	774647	0.007063515	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00125	880000	800	880000	0.007889759	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.00111	990990	900	990990	0.00805027	0.005335	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.001	1100000	1000	1100000	0.007178708	0.000488	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1100	0.0009	1222222	1111	1222222	0.007233594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1100	0.0008	1375000	1250	1323360	0.009033594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
					0.007454073			
1200	0.005	240000	200	240000	0.005715775	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1200	0.00285	421052	350	421052	0.006303139	0.002631	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.002	600000	500	600000	0.007102457	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00166	722891	602	722891	0.008575039	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00142	845070	704	845070	0.006839856	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00125	960000	800	960000	0.007831209	0.005173	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.00111	1081081	900	1081081	0.00805827	0.005383	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.001	1200000	1000	1200000	0.007202708	0.00044	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1200	0.0009	1333333	1111	1323360	0.007185594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1200	0.0008	1500000	1250	1323360	0.008985594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
					0.007379964			
1300	0.005	260000	200	260000	0.005722975	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1300	0.00285	456140	350	456140	0.007250919	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.002	650000	500	650000	0.007073817	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00166	783132	602	783132	0.008510319	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00142	915492	704	915492	0.007317051	0.005232	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00125	1040000	800	1040000	0.00780727	0.005227	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.00111	1171171	900	1171171	0.00806727	0.005437	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.001	1300000	1000	1300000	0.007229708	0.000386	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1300	0.0009	1444444	1111	1323360	0.007131594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1300	0.0008	1625000	1250	1323360	0.008931594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
					0.007504252			

Dimensiune Pachet	Intervalul dintre pachete	Debit [kbps]	Numar total de pachete transmise	Debit estimat	Intarziere estimata	Jitter estimat	Numar de hopuri	Traseu indicat de modelul I-NAME QoS
1400	0.005	280000	200	280000	0.005730175	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1400	0.00285	491228	350	491228	0.006946199	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.002	700000	500	700000	0.007041177	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.00166	843373	602	843373	0.008445599	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.00142	985915	704	985915	0.009210431	0.004227	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1400	0.00125	1120000	800	945000	0.008620437	0.000265	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1400	0.00111	1261261	900	1261261	0.009327777	0.00298	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.001	1400000	1000	1323360	0.007788594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.0009	1555555	1111	1323360	0.007083594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1400	0.0008	1750000	1250	1323360	0.008883594	0.005351	7	1-3-5-7-8-11-13-15
					0.007907757			
1500	0.005	300000	200	300000	0.006404708	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00285	526315	350	526315	0.006641479	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.002	750000	500	750000	0.007008537	0.005561	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00166	903614	602	903614	0.008380879	0.005136	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00142	1056338	704	1056338	0.009145711	0.004227	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1500	0.00125	1200000	800	1200000	0.009075777	0.002818	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.00111	1351351	900	1351351	0.011057708	0.00446	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1500	0.001	1500000	1000	1500000	0.009203694	0.004346	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1500	0.0009	1666666	1111	1323360	0.008288094	0.002846	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1500	0.0008	1875000	1250	1323360	0.010092594	0.002837	7	1-3-5-7-8-11-13-15
					0.008529917			
1600	0.005	320000	200	320000	0.006411908	0.000126	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1600	0.00285	561403	350	561403	0.008659426	0.002131	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1600	0.002	800000	500	800000	0.008267981	0.002556	7	1-3-5-7-8-11-14-15
1600	0.00166	963855	602	963855	0.009269259	0.004131	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.00142	1126760	704	1126760	0.009080991	0.004227	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.00125	1280000	800	1280000	0.01033727	0.000367	7	1-3-5-7-8-11-13-15
1600	0.00111	1441441	900	1441441	0.011084708	0.004406	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.001	1600000	1000	1600000	0.009149694	0.004346	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.0009	1777777	1111	1777777	0.008947194	0.000341	7	1-3-5-7-8-11-12-15
1600	0.0008	2000000	1250	1785600	0.010760694	0.000314	7	1-3-5-7-8-11-12-15
					0.009196913			

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS
320059	20000	0.005127766	0.001502279	320059	20000	0.005127766	0.001502279
561490	35088	0.005065338	0.001650458	561490	35088	0.005065338	0.001650458
132288	9920	0.005188465	0.002003966	132288	9920	0.005188465	0.002003966
81548	6091	0.018419797	0.002187521	81548	6091	0.018419797	0.002187521
1126933	70423	0.005090879	0.001834309	1126933	70423	0.005090879	0.001834309
1280187	80000	0.005109546	0.001720372	1280187	80000	0.005109546	0.001720372
1441725	90091	0.005116622	0.001605229	1441725	90091	0.005116622	0.001605229
153963	11545	0.005163855	0.00149901	153963	11545	0.005163855	0.00149901
844736	63345	0.005167802	0.001395699	844736	63345	0.005167802	0.001395699
1377062	103263	0.00523862	0.001280673	1377062	103263	0.00523862	0.001280673
731999.1		0.006468869				0.006468869	
46187	2309	0.005206266	0.001499354	46187	2309	0.005206266	0.001499354
512262	25609	0.005121039	0.001651042	512262	25609	0.005121039	0.001651042
1200175	50000	0.005238101	0.002006223	1200175	50000	0.005238101	0.002006223
1452850	60241	0.007385423	0.002216685	1452850	60241	0.007385423	0.002216685
1690399	70423	0.005147878	0.00183435	1690399	70423	0.005147878	0.00183435
1920281	80000	0.005167992	0.001720561	1920281	80000	0.005167992	0.001720561
2162587	90091	0.005181518	0.001605205	2162587	90091	0.005181518	0.001605205
702077	35097	0.005220746	0.001500579	702077	35097	0.005220746	0.001500579
1267105	63345	0.005253769	0.001395728	1267105	63345	0.005253769	0.001395728
3000439	125000	0.005342354	0.001280681	3000439	125000	0.005342354	0.001280681
1395436.2		0.005426509				0.005426509	
640119	20000	0.005235835	0.001504376	640119	20000	0.005235835	0.001504376
533526	20004	0.005167204	0.001650795	533526	20004	0.005167204	0.001650795
37899	1421	0.00530632	0.001989414	37899	1421	0.00530632	0.001989414
1937133	60241	0.007466925	0.002216795	1937133	60241	0.007466925	0.002216795
2253866	70423	0.005201118	0.001834189	2253866	70423	0.005201118	0.001834189
2560375	80000	0.005229746	0.001720498	2560375	80000	0.005229746	0.001720498
602216	22578	0.006210478	0.001726482	602216	22578	0.006210478	0.001726482
936102	35097	0.005287928	0.001500522	936102	35097	0.005287928	0.001500522
3556310	111112	0.006305365	0.001476362	3556310	111112	0.006305365	0.001476362
2767781	103775	0.005455829	0.001280765	2767781	103775	0.005455829	0.001280765
		0.005663023				0.005686675	
76981	2309	0.005301784	0.001504568	76981	2309	0.005301784	0.001504568
1403782	35088	0.005214593	0.001650505	1403782	35088	0.005214593	0.001650505
47374	1421	0.005405088	0.001992232	47374	1421	0.005405088	0.001992232
2421417	60241	0.007560404	0.00221674	2421417	60241	0.007560404	0.00221674
2817446	70423	0.005252878	0.001834051	1408723	70423	0.005118667	0.001833971
307926	9236	0.005294152	0.001717435	307926	9236	0.005294152	0.001717435
3604376	90091	0.006288157	0.001727928	3604376	90091	0.006288157	0.001727928
2016793	60492	0.005354855	0.001500859	2016793	60492	0.005354855	0.001500859
4445388	111112	0.006395544	0.001476379	4445388	111112	0.006395544	0.001476379
5000933	125000	0.005584429	0.001280649	5000933	125000	0.005584429	0.001280649
		0.005765188				0.005751767	

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS
960217	20000	0.005332877	0.001501471	960217	20000	0.005332877	0.001501471
800316	20004	0.005272847	0.00165116	800316	20004	0.005272847	0.00165116
56849	1421	0.005402266	0.001989413	56849	1421	0.005402266	0.001989413
2905700	60241	0.007654049	0.002216795	2905700	60241	0.007654049	0.002216795
3380935	70423	0.005313863	0.001834132	1690467	70423	0.005150839	0.001834172
3840717	80000	0.005348993	0.001720479	3840717	80000	0.005348993	0.001720479
4325252	90091	0.006349495	0.001727903	4325252	90091	0.006349495	0.001727903
4800896	100000	0.005440974	0.001501094	4800896	100000	0.005440974	0.001501094
1796926	44913	0.006503113	0.001475985	1796926	44913	0.006503113	0.001475985
6001120	125000	0.005754132	0.001280691	6001120	125000	0.005754132	0.001280691
		0.005837261				0.005820959	
107774	2309	0.005393828	0.001501933	107774	2309	0.005393828	0.001501933
1145003	24531	0.005327935	0.001652136	1145003	24531	0.005327935	0.001652136
747419	16013	0.005379748	0.002004851	747419	16013	0.005379748	0.002004851
3389983	60241	0.007731559	0.002216685	3389983	60241	0.007731559	0.002216685
3944424	70423	0.005369779	0.001834254	1972212	70423	0.005174868	0.001834051
4480836	80000	0.00541596	0.001720699	4480836	80000	0.00541596	0.001720699
1132402	24239	0.006816413	0.001724374	2522937	90091	0.006193063	0.001727811
443279	9497	0.005556324	0.00149816	443279	9497	0.005556324	0.00149816
6223544	111112	0.006623247	0.001476429	6223544	111112	0.006623247	0.001476429
88077	1887	0.006153494	0.00126508	88077	1887	0.006153494	0.00126508
		0.005976829				0.005895003	
123170	2309	0.005444192	0.001501933	123170	2309	0.005444192	0.001501933
1067088	20004	0.005374279	0.001651445	1067088	20004	0.005374279	0.001651445
3200597	50000	0.005423123	0.002005262	3200597	50000	0.005423123	0.002005262
3860661	60241	0.006494216	0.002218649	1528041	57291	0.006167516	0.002219288
4529100	70423	0.007902776	0.002031747	2253883	70423	0.006184708	0.002034602
2076477	38891	0.006666942	0.001873965	1395617	52326	0.006203497	0.001875605
5773077	90091	0.006604136	0.001727204	2883356	90091	0.006222982	0.001727836
550311	10316	0.006622269	0.001597479	3200814	100000	0.006269219	0.001727836
2395902	44913	0.00676358	0.001475908	2395902	44913	0.00676358	0.001727836
100659	1887	0.006478629	0.001265067	100659	1887	0.006478629	0.001727836
		0.006377414				0.006053173	
138567	2309	0.005508449	0.001501979	138567	2309	0.005508449	0.001501979
579473	9656	0.005430156	0.001648873	579473	9656	0.005430156	0.001648873
3600735	50000	0.006462507	0.002402551	1800367	50000	0.006216817	0.002402649
4343244	60241	0.006561747	0.002218759	1719047	57291	0.006195674	0.002219579
5072241	70423	0.009493329	0.002335745	2536120	70423	0.009231269	0.002335783
408357	6778	0.025624839	0.001836103	2880444	80000	0.006239448	0.001875924
6494712	90091	0.006703901	0.001727254	3243776	90091	0.006252066	0.001727811
1000186	16666	0.006703039	0.001598619	1255986	41855	0.006307882	0.001599952
8001699	111112	0.006966334	0.001476415	8001699	111112	0.006966334	0.001476415
9001839	125000	0.007818571	0.001344254	1554626	51807	0.006493524	0.00134379
		0.008727287				0.006484162	

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS
153963	2309	0.005551866	0.001501997	153963	2309	0.005551866	0.001501997
1333860	20004	0.005483931	0.001651729	1333860	20004	0.005483931	0.001651729
4000817	50000	0.006515313	0.002402471	2000308	50000	0.006240163	0.00240257
4825827	60241	0.006621294	0.002218759	2410011	60241	0.00622243	0.002219487
4126154	61638	0.008355381	0.002031416	396073	11880	0.006247062	0.002032619
1923436	28733	0.011247458	0.001866881	3200493	80000	0.006268005	0.001875861
7216347	90091	0.006798216	0.001727229	3604196	90091	0.006283541	0.001727836
2340597	35097	0.009922561	0.001748889	1089574	32639	0.010106089	0.001746375
1796139	26936	0.007182044	0.001475605	1796139	26936	0.007182044	0.001475605
10002044	125000	0.00915035	0.001344265	5001272	125000	0.006543066	0.001344248
		0.007682841				0.00661282	
391676	5340	0.005589287	0.00150137	391676	5340	0.005589287	0.00150137
602863	8219	0.006529843	0.002454036	1544187	35088	0.006227477	0.002456659
4400899	50000	0.006572527	0.002402631	2200449	50000	0.006268821	0.002402491
5308409	60241	0.006681839	0.002218869	2651013	60241	0.006247047	0.002219377
1384575	18803	0.01278356	0.002022672	996343	27168	0.006266901	0.002033782
499104	6778	0.027290897	0.001836545	2856310	77885	0.006295526	0.001875882
5734685	78114	0.006923353	0.001727003	3964615	90091	0.006319744	0.001727885
8803098	100000	0.010072832	0.001749818	3018490	82201	0.009594335	0.001748489
9779855	111112	0.007630865	0.001476365	3900692	106354	0.006443936	0.001476321
3841863	52375	0.051864321	0.001353243	1609034	43871	0.006633002	0.001343729
		0.014193932				0.006588608	
184756	2309	0.005642174	0.001493287	184756	2309	0.005642174	0.001493287
2215941	27693	0.006583616	0.00245708	1684568	35088	0.006255034	0.002456659
4800981	50000	0.006628138	0.002402552	2400490	50000	0.00630379	0.00240273
5790992	60241	0.00674255	0.00221887	2892014	60241	0.006280979	0.002219322
6793650	70423	0.008373164	0.002031749	3380825	70423	0.006302234	0.002034644
741928	9236	0.022610027	0.001847105	2244174	56094	0.006332094	0.001875787
6433416	80329	0.007064373	0.001727009	4325035	90091	0.006354278	0.001727812
1546687	19327	0.010236945	0.001747745	2554529	63769	0.009698943	0.00174794
2319341	28984	0.008338776	0.001475455	4309875	107718	0.006504243	0.001476412
11519750	120039	0.0706424	0.001389822	6001226	125000	0.006719377	0.001344275
		0.015286216				0.006639315	
200152	2309	0.005687327	0.001493376	200152	2309	0.005687327	0.001493376
712474	8219	0.006630421	0.002453342	1824949	35088	0.006287303	0.002456984
5201063	50000	0.006675332	0.002402792	2600401	50000	0.006327638	0.002402491
6273575	60241	0.006795277	0.002218814	3133015	60241	0.006305596	0.002219377
7359787	70423	0.008492042	0.002031709	508653	11736	0.00634774	0.002032593
1516658	17428	0.015589154	0.001860659	3375639	77885	0.006368214	0.001875947
9381251	90091	0.007186989	0.00172728	378803	8740	0.00643164	0.001724678
1142916	13183	0.010637547	0.001746577	2767406	63769	0.009748182	0.001747939
3262227	37631	0.010841687	0.001475684	4609865	106353	0.006556108	0.001476355
11996735	115399	0.069742892	0.001432471	5041841	116319	0.006793546	0.001344247
		0.014827867				0.006685329	

Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS	Debitul sursei cu modelul I-NAME QoS	Numarul de pachete transmise cu I-NAME QoS	Intarzierea modelului I-NAME QoS	Jitterul modelului I-NAME QoS
1362652	14597	0.005733634	0.001501151	1362652	14597	0.005733634	0.001501151
2585264	27693	0.006679861	0.002457696	1965329	35088	0.006311719	0.002456822
5601144	50000	0.006722025	0.002402472	2800432	50000	0.006354892	0.002402572
6756158	60241	0.006854242	0.002218869	3374016	60241	0.006331627	0.002219377
7890153	70423	0.009812487	0.002335748	3950457	70423	0.00952984	0.002334537
8961673	80000	0.005970593	0.001720857	4480836	80000	0.005405133	0.001720511
10135906	90059	0.009291708	0.001725456	5045874	90091	0.006425737	0.001727836
8399963	89983	0.008077164	0.00160055	1877139	40217	0.006526539	0.00160012
6596514	70658	0.042714559	0.001493733	2234578	47871	0.006710728	0.001476107
12575704	112322	0.067541929	0.001464385	3744696	80222	0.0068716	0.001344067
7086513.1		0.01693982				0.006620145	
333361	3333	0.006810051	0.000255756	371875	7429	0.006627032	0.000261011
822086	8219	0.006732827	0.002454033	615863	12315	0.006335733	0.002454668
6001226	50000	0.006777035	0.002402711	3000462	50000	0.006377437	0.002402731
7238740	60241	0.00692618	0.00221898	3615017	60241	0.006358489	0.002219377
8453735	70423	0.009886305	0.002335749	4232633	70423	0.009556683	0.002334497
1798289	17909	0.016273688	0.001862512	1944908	38891	0.006426432	0.001875385
4713306	47117	0.010570248	0.001911283	5407363	90091	0.009487072	0.001911791
2875779	28748	0.012310562	0.001748604	3189536	63769	0.009585015	0.00174954
12979929	108209	0.062554771	0.001506444	6667748	111112	0.006683261	0.00147641
12856214	107183	0.066025227	0.001517281	2514013	50271	0.007037656	0.001343966
		0.020486689				0.007447481	
355585	3333	0.00684763	0.000252005	1281738	20000	0.006499537	0.000261981
1313856	12315	0.005799499	0.001653037	2246051	35088	0.005373448	0.001651317
6401195	50000	0.00584313	0.002005742	3200597	50000	0.005423363	0.002005182
1729442	16208	0.009882172	0.002628447	3862042	60241	0.009557296	0.002629735
9017318	70423	0.009965924	0.00233579	4514809	70423	0.009589099	0.002334496
2243934	21033	0.007201346	0.00187467	5120790	80000	0.006450682	0.001875861
5106273	47855	0.010986462	0.001911298	3921389	73501	0.009531575	0.001911661
445165	4172	0.016150934	0.001738431	6402253	100000	0.009632923	0.001749816
13099448	102369	0.067367985	0.001715941	3480602	65165	0.010107903	0.001595437
13414250	104678	0.066892449	0.001682018	100788	1887	0.022448622	0.001357627
		0.020693753				0.009461445	