

FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI
TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI

Ing. Emanuel D. Pușchiță

TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumatul tezei de doctorat

CONTRIBUȚII LA IMPLEMENTAREA CALITĂȚII SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII

Conducător științific,
Prof. Dr. Ing. Tudor P. PALADE

Comisia de evaluare a tezei de doctorat:

- PREȘEDINTE: - Prof. Dr. Ing. *Marina Țopa* - Decan, Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;
- MEMBRI: - Prof. Dr. Ing. *Tudor P. Palade* - Conducător științific, Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;
- Prof. Dr. Ing.
- Prof. Dr. Ing.
- Prof. Dr. Ing.

Cuprins

CUPRINS	3
1. INTRODUCERE	4
1.1 CALITATEA SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII	4
1.2 SCOPUL TEZEI	4
1.3 ORGANIZAREA TEZEI.....	5
2. CALITATEA SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII.....	6
3. SPECIFICUL QOS INTRA-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES RADIO.....	7
3.1 SUPORTUL QOS ÎN REȚELE DVB-RCS	7
3.2 SUPORTUL QOS ÎN REȚELE IEEE 802.16	8
3.3 SUPORTUL QOS ÎN REȚELE IEEE 802.11	9
4. EVALUAREA UNOR MODELE DE IMPLEMENTARE A SUPORTULUI QOS INTRA-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES RADIO.....	11
4.1 EVALUAREA PERFORMANȚEI TEHNICILOR DE ACCES LA MEDIUL DE TRANSMISIE RADIO	11
4.2 EVALUAREA PERFORMANȚEI PROTOCOALELOR DE RUTARE ÎN MEDII CU TRANSMISIE RADIO	17
4.3 EVALUAREA PERFORMANȚEI PROTOCOALELOR DE TRANSPORT ÎN MEDII CU TRANSMISIE RADIO	17
4.4 EVALUAREA PERFORMANȚEI PROTOCOLULUI SIP	18
5. SPECIFICUL QOS INTER-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES HIBRID.....	18
6. EVALUAREA MODELELOR DE IMPLEMENTARE A SUPORTULUI QOS INTER-DOMENIU ÎN SISTEME CU ACCES HIBRID	19
6.1 MODEL QoS INTER-DOMENIU UTILIZÂND AGENȚI MOBILI.....	20
6.2 MODELUL QoS INTER-DOMENIU I-NAME.....	21
6.2.1. Scopul proiectării modelului I-NAME.....	22
6.2.2. Profilele modelului I-NAME.....	23
6.2.3. Evaluarea și validarea performanțelor modelului I-NAME.....	23
6.3 CONCLUZII	33
6.3.1. Concluzii generale.....	34
6.3.2. Concluzii particulare.....	34
7. CONTRIBUȚII LA IMPLEMENTAREA CALITĂȚII SERVICIILOR ÎN REȚELELE DE TELECOMUNICAȚII.....	36
FLUXUL PRINCIPAL AL PUBLICAȚIILOR AUTORULUI CITATE ÎN TEZĂ.....	39
PREMII OBȚINUTE	41

1. Introducere

1.1 Calitatea serviciilor în rețelele de telecomunicații

Asigurarea unui suport QoS cap-la-cap într-un domeniu administrativ unic 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 combinații ale 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: conceptul QoS vertical și 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.

1.2 Scopul tezei

Pornind de la abordările globale ale problematicii QoS în rețelele de telecomunicații, scopul tezei poate fi identificat prin modul în care lucrarea: prezintă mecanismele de asigurare a suportului QoS intra-domeniu în rețele cu acces radio; analizează și evaluează performanțele mecanismelor QoS, ale tehnologiilor cu acces radio prezentate din perspectiva conceptului QoS vertical; identifică tendințele și necesitatea unui management QoS autonom în sistemele cu acces hibrid; propune modele de suport QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid conform perspectivei QoS orizontal; 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 cu acces hibride.

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.

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.

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.

1.3 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, respective 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 fiecăruia dintre straturile 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. Perspectivile 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. Conjunția 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.

2. Calitatea serviciilor în rețelele de telecomunicații

Există numeroși factori și componente care afectează performanțele aplicațiilor multimedia. Grupând toate aceste elemente, consideră problema QoS având două perspective majore [Pus05j]: perspectiva rețelei, implicând o analiză obiectivă și 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: QoS vertical și 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.

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

3. Specificul QoS intra-domeniu în sisteme cu acces radio

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

3.1 Suportul QoS în rețele DVB-RCS

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 (capacități de transfer).

Înainte ca pachetele să fie transmise de către terminalul RCST (vezi Figura 3.1), 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.

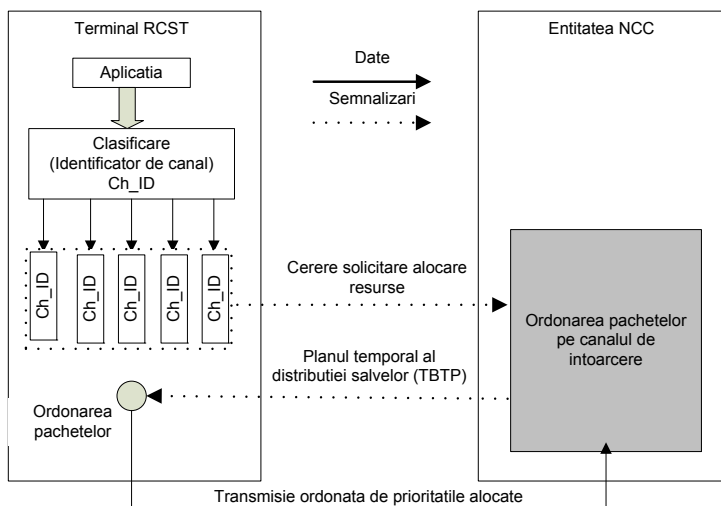


Figura 3.1 Arhitectura QoS în cazul sistemului DVB-RCS

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. 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.

3.2 Suportul QoS în rețele IEEE 802.16

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: servicii garantate fără solicitare UGS (*Unsolicited Grant Service*), servicii de tip “real-time” cu interogare rtPS (*real-time Polling Service*), servicii de tip “non-real-time” cu interogare nrtPS (*non-real-time Polling Service*) și servicii de tip BE (*Best Effort*).

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.

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. 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.

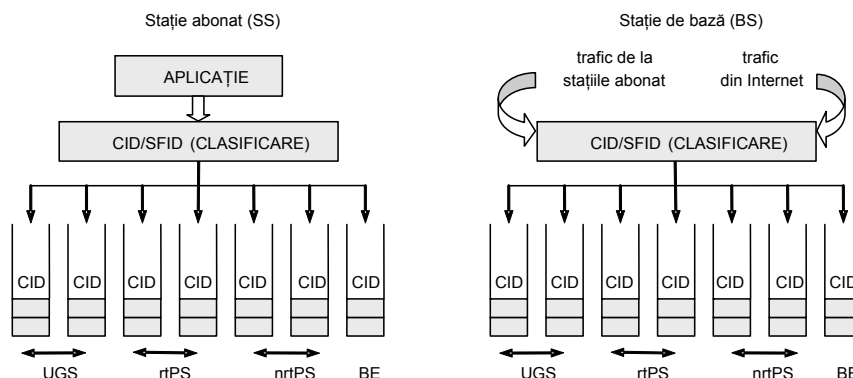


Figura 3.2 Mecanismul de clasificare la nivel de stație abonat și stație de bază

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: garantarea resurselor per stație abonat GPSS (*Grant Per Subscriber Station*) și 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. 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 alocă resurse pentru conexiuni multiple la nivel de stație de abonat, fiecare aplicație având un nivel QoS diferit.

3.3 Suportul QoS în rețele IEEE 802.11

Standardul original IEEE 802.11 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. Varianta inițială a standardului IEEE 802.11e a fost îmbunătățită, ultima extensie fiind introdusă în versiunea integratoare a recomandărilor aprobate pentru standardul IEEE 802.11.

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: mecanismul de acces la canal distribuit îmbunătățit EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*), mecanism ce operează pe intervalele cu disputarea canalului de transmisie, și 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).

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*).

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

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 arbitraj (*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]*;

$$AIFS [AC] = SIFS + AIFSN [AC] * ST \quad (3.1)$$

- (4) oportunitățile de transmisie asociate unei categorii de acces (*TXOP_{limit} [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*.

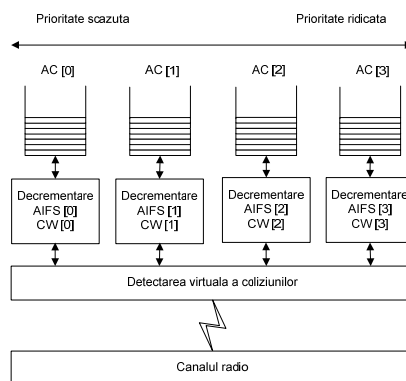


Figura 3.3 Setul de parametri specifici mecanismului EDCA

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 *CW_{limit}*, *CW_{min} [AC]* și *CW_{max} [AC]* specifici fiecărei categorii de acces.

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.

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.

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

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.

Garantarea suportului QoS intra-domeniu necesită îndeplinirea următoarelor două condiții: maparea cerințelor utilizator în termeni specifici mecanismului intra-domeniu cu suport QoS peste care este rulată aplicația și 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.

Astfel, evaluarea unor modele de implementare a suportului QoS intra-domeniu în sisteme cu acces radio include: evaluarea performanței tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio urmărește contribuția stratului legături de date la asigurarea suportului QoS global; evaluarea performanței protocoalelor de rutare în medii cu transmisie radio pune în evidență încărcarea introdusă la nivel de strat rețea de protocoalele de rutare; evaluarea performanței protocoalelor de transport în medii cu transmisie radio ilustrează dependența parametrică a tipului aplicației de protocoalele de pe strat transport și evaluarea performanței protocolului SIP prezintă o modalitate de asigurare a suportului QoS la nivel de strat aplicație.

4.1 Evaluarea performanței tehnicilor de acces la mediul de transmisie radio

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 rețea QualNet Developer 4.0.

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.

În primul scenariu am simulat o arhitectură de tip ad-hoc în standard IEEE 802.11 cu suport QoS de tip EDCA fiind simulate conexiuni individuale între opt noduri sursă și un nod destinație.

În cel de-al doilea scenariu am simulat o arhitectură de tip infrastructură în standard IEEE 802.11 cu suport QoS de tip EDCA fiind setate patru fluxuri de trafic între noduri sursă și destinație pereche, întregul trafic fiind rutat printr-un punct de acces intermediar.

În cadrul scenariilor analizate, setul de parametrii specifici EDCA au fost alocări conform valorilor implementate în echipamentele Cisco (*Cisco 4400 Series Wireless LAN Controllers and Cisco Aironet Access Points 1200 Series*).

Tabelul 4.1 și Tabelul 4.2 prezintă parametrii de configurare ai simulatorului pentru cele două scenarii de analiză.

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 4.1 Parametrii de configurare ai aplicațiilor de test la evaluarea mecanismului EDCA

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 4.2 Parametrii specifici de configurare EDCA conform *Cisco Aironet 1200 Series*

Rețelele în tehnologie *Cisco Unified Wireless Networking* permit marcarea traficului la stratul rețea prin intermediul parametrilor de tip DSCP (**D**ifferentiated **S**ervices **C**ode **P**oint).

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*).

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.

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.

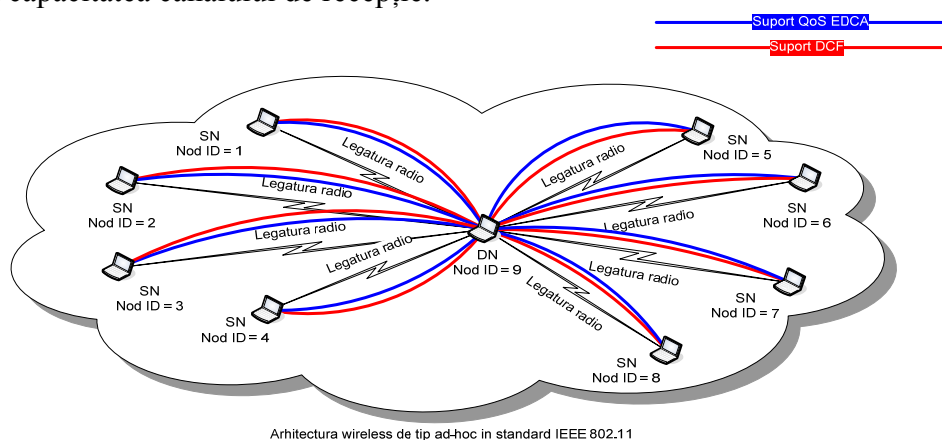


Figura 4.1 Rularea aplicațiilor de test între nodul sursă și nodul destinație pentru o arhitectură de tip ad-hoc în standard IEEE 802.11 cu suport DCF/EDCA

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 pentru valori ale câmpului precedență IP 3 și 6 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 = 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
				0.012398	0.011271	10.086158	109.915638
IEEE 802.11e	AC[2]	24	3	0.003167	0.003289	10.013450	109.904185

Tabelul 4.4 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
				0.012603	0.011498	10.086158	109.906672
IEEE 802.11e	AC[3]	48	6	0.002219	0.000850	10.013450	109.902058

Tabelul 4.5 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 4.2.

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 jitterului și ale duratei transmisiei sunt semnificativ reduse în cazul marcării traficului prin intermediul mecanismului EDCA.

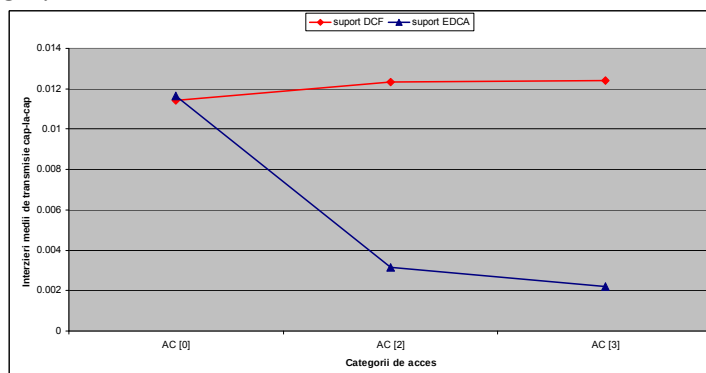


Figura 4.2 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap funcție de categoriile de acces EDCA în topologie de tip ad-hoc

Este de remarcat totodată faptul că introducerea priorităților de trafic defavorizează fluxurile neprioritare proporțional cu 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 4.3.

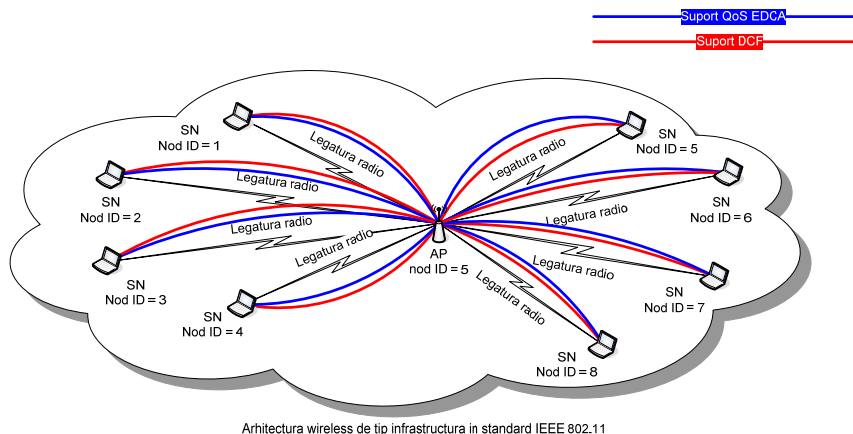


Figura 4.3 Rularea aplicațiilor de test între nodul sursă și nodul destinație pentru o arhitectură de tip ad-hoc în standard IEEE 802.11 cu suport DCF/EDCA

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).

La fel ca și în cazul primului scenariu, evaluarea performanței mecanismului suport EDCA comparativ cu mecanismul DCF, 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. 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 4.6 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 4.7 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 4.8 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, jitterul, 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 4.4.

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 jitterului și durata transmisiei sunt net superioare cazurilor în care traficul este rulat fără suport QoS datorită controlului suplimentar introdus de coordonatorul hibrid.

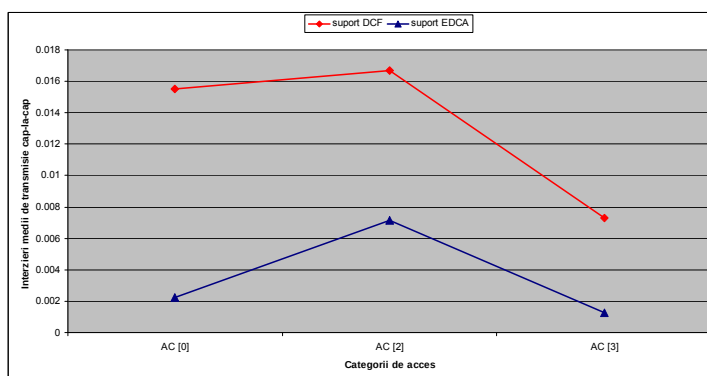


Figura 4.4 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap funcție de categoriile de acces EDCA în topologie de tip infrastructură

În ambele scenarii o aplicație de test de tip CBR a fost marcată prioritar și clasificată QoS prin intermediul corespondenței dintre câmpul precedentă IP și categoriile de acces corespunzătoare în standard IEEE 802.11 cu suport QoS. Din analiza rezultatelor obținute putem extrage o serie de concluzii globale asupra performanțelor mecanismului QoS analizat:

- (1) mecanismul EDCA asigură o schemă prioritară QoS pentru serviciile discriminate de componenta temporală (*time-critical applications*) prin asigurată de spațiile inter-cadru (*AFIS*), valoarea minimă și maximă a ferestrei de disputare (CW_{min} , CW_{max}) și categoriile 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, jitterul și durata transmisiei) indică faptul că mecanismul suport QoS de tip EDCA asigură o bună diferențiere a serviciilor în comparație cu mecanismul original DCF.

4.2 Evaluarea performanței protocoalelor de rutare în medii cu transmisie radio

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: influența creșterii numărului de noduri radio și influența vitezei nodurilor radio mobile.

Mecanismele de determinare și de mentreținere 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, a fost demonstrat faptul că 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. În același timp, creșterea gradului de mobilitate din rețea determină creșterea numărului de pachete utilizate pentru actualizarea localizării și creșterea întârzierii medii de transmisie cap-la-cap. 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.

4.3 Evaluarea performanței protocoalelor de transport în medii cu transmisie radio

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.

4.4 Evaluarea performanței protocolului SIP

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.

Metodele SIP urmăresc scopul acestui protocol și anume: inițierea și eliberarea unei sesiuni cât și posibilitatea de modificare a unei sesiuni existente.

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, jitterul între două pachete succesive și numărul cumulat de pachete pierdute.

Pentru demonstrarea funcționării corecte a evaluărilor realizate s-au folosit eșantioanele 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: semnalizările cap-la-cap prin care se schimbă informații QoS și 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.

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, 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 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.

Toate aceste studii 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.

Din sinteza realizată, putem afirma că modelele QoS inter-domeniu prezentate sunt soluțiile particulare a 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 definesc 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 problematicii 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 o management distribuită 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.

6. Evaluarea modelelor de implementare a suportului QoS inter-domeniu în sisteme cu acces hibrid

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. Principalele elemente promovate în cadrul acestui capitol sunt:

- (1) cunoașterea parametrilor ce caracterizează entitățile rețelei reprezintă componenta de bază a unui model cu suport QoS inter-domeniu; colectarea informațiilor despre contextul rețelei utilizând agenți 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];

- (2) 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];
- (3) profile 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;
- (4) specificul mediului de simulare, caracteristicile tehnologiilor integrate și modul de configurare al aplicațiilor de test sunt prezentate în configurarea parametrică a scenariilor de simulare;
- (5) 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 fragementare și codare adaptivă, reprezintă criteriile de evaluare ale modelului I-NAME;
- (6) 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 alizată din prisma conceptelor INM și VNet.

6.1 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 la nivel de strat legături de date, fără a considera însă contextul rețelei, poate duce la o utilizare ineficientă 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: integrarea și abordarea unitară a contextului rețelei; virtualizarea resurselor rețelei într-un plan de management distribuit în rețea și 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: alocarea adaptivă a resurselor sistemului și 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.

Lucrarea propune o abordare a rezervării resurselor inter-domeniu utilizând agenți mobili într-o rețea IP wireless hibridă [cncsis-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: o arhitectură de tip WLAN – satelitară și o arhitectură de tip WLAN – UMTS.

Performanța mecanismul 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.

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 fiecărei 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.

6.2 Modelul QoS inter-domeniu 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.

Așa după cum sunt prezentate în Figura 6.1, 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).

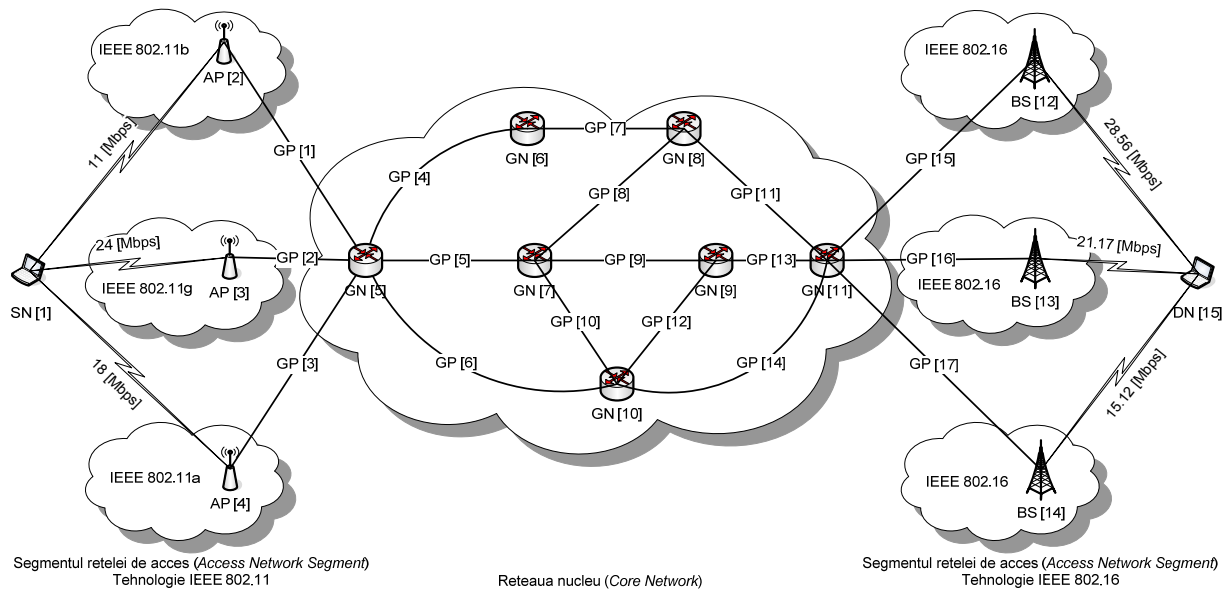


Figura 6.1 Scenariul de test pentru simularea modelului I-NAME

În Figura 6.1 au fost folosite 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].

6.2.1. Scopul proiectării modelului I-NAME

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 conjuncția dintre nodurile rețelei și aplicațiile rulate de utilizator, asigurând: acces personalizat (din punctul de vedere al aplicației) și servicii optimizate (din perspectiva rețelei).

Modelul I-NAME introduce o anumită predicție în interiorul rețelei prin monitorizarea și colectarea de informații despre resursele solicitate în conjuncție cu cele disponibile în rețea.

În acord cu tendințele unui management integrat al rețelei, am definit mesaje 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 capabilitățile rețelei, sunt utilizate profilele modelului propus I-NAME.

6.2.2. 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: debitul (*T*, *Throughput*), întârzierile (*D*, *Delay*), jitterul (*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: setul de parametri QoS solicitați de aplicația rulată în nodul sursă, cu capacitățile arhitecturii inter-domeniu, la potențialul nodului destinație ce urmează a fi beneficiarul serviciului rulat în rețea.

În cadrul modelului I-NAME, în funcție de potențialul nodului destinație, există două faze în selectarea traselui 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;
- (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.

Dezvoltarea, implementarea, testarea și validarea modelului de implementare QoS inter-sistem propus I-NAME, a fost realizată utilizând simulatorul de rețea QualNet Developer.

6.2.3. 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 modelul I-NAME este evidențiată prin capacitatea mecanismului propus de a selecta un traseu intermediar între nodul sursă și nodul destinație prin utilizarea setului de parametrii QoS specifici (parametrii 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 siteului (*site survey*), se operează cu doi parametri de interes: dimensiunea pachetului (*packet size*) și 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: rularea aplicației cu suport I-NAME, rularea aplicației cu suport BE și rularea aplicației cu suport QoS (IP Precedence = 3 și 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 6.1.

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										
Debitul 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 6.1 Configurarea aplicației de test pentru scenariile de analiză

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 6.1. 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.

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 6.2 a fost realizată o mediere a valorilor parametrului de interes pentru fiecare din cele patru modele suport al 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 6.2 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 6.2 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.

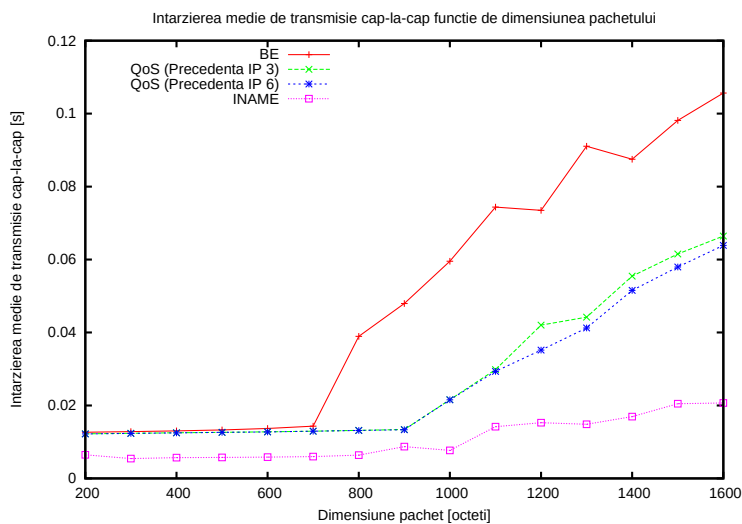


Figura 6.2 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în funcție de dimensiunea pachetului la valori constante ale numărului de pachete per secundă transmise

Figura 6.2 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.

Conform datelor prezentate în Tabelul 6.1, 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 6.2, setul rezultatelor indicând însă 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: reducerea dimensiunii pachetului prin fragmentare ($<packet\ size/2>$) cu menținerea numărului de pachete transmise pentru situațiile în care avem indicată depășirea valorii întârzierii minime solicitate și 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 modelului I-NAME și cele obținute în cazul modelului I-NAME cu adaptare prin fragmentare, pentru fiecare dintre scenariile de analiză, sunt incluse în Tabelul 6.3.

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 valoare 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 6.3 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 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 6.1.

$$\text{Factorul de adaptare } [\%] = \left| \frac{(\text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS} - \text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS adaptat})}{\text{Întârzierea de transmisie I - NAME QoS}} \right| \cdot 100 \quad (6.1)$$

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 valoare 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.

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 6.2.

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.

$$\text{Eroarea de estimare } [\%] = \left| \frac{(\text{Întârzierea de transmisie măsurată} - \text{Întârzierea de transmisie estimată})}{\text{Întârzierea de transmisie măsurată}} \right| \cdot 100 \quad (6.2)$$

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 cunantizat prin eroarea de estimare după adaptare.

În Tabelul 6.4 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 6.4 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 fiecărei 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 6.3 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.

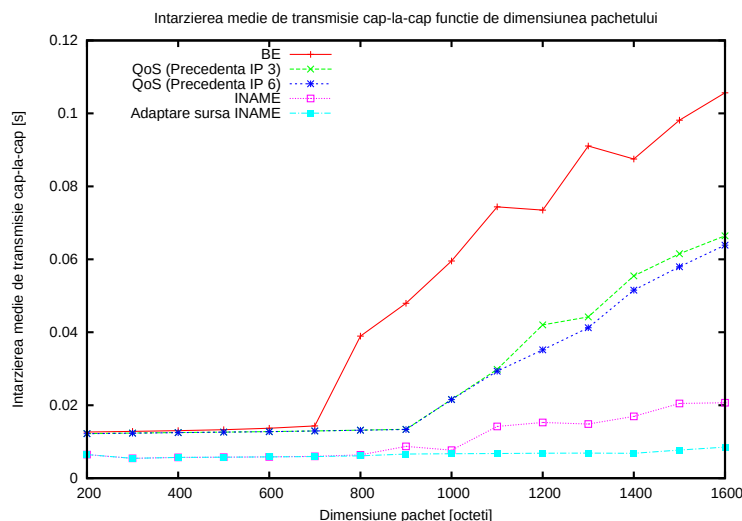


Figura 6.3 Variația întârzierii medii de transmisie la adaptarea aplicației sursă prin fragmentare conform modelului I-NAME rulat în trei faze

În Figura 6.4 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.

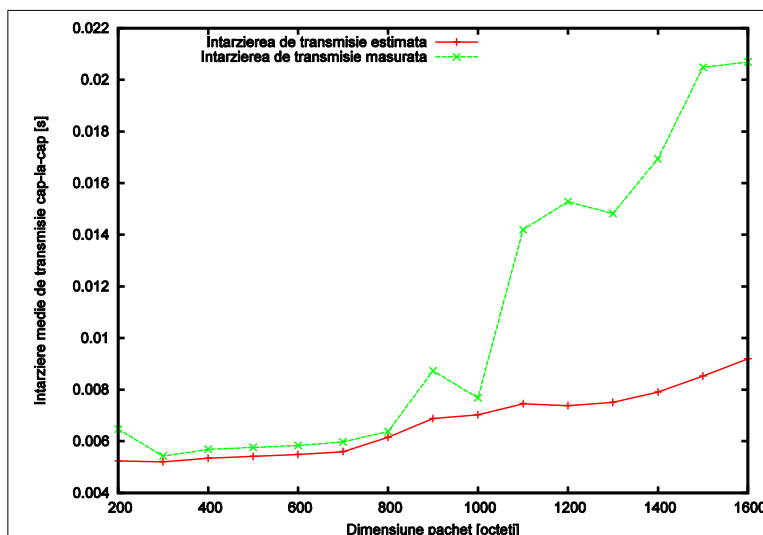


Figura 6.4 Variația întârzierilor de transmisie estimate și măsurate conform mecanismului propus prin modelul I-NAME în cazul variației dimensiunii pachetului cu valori constante ale numărului de pachete transmise per secundă

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.

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 6.5 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

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 6.5 a fost realizată o mediere a valorilor parametrului de interes pentru fiecare din cele patru modele suport de rulare a aplicației de test.

Tabelul 6.5 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.

În Figura 6.5 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.

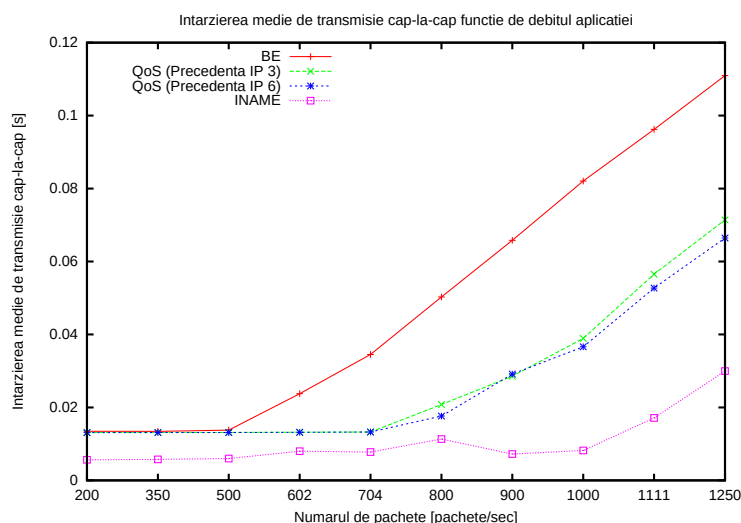


Figura 6.5 Întârzierea medie de transmisie cap-la-cap în funcție de numărul de pachete transmise per secundă la valori constante ale dimensiunii pachetului

Conform datelor prezentate în Tabelul 6.1, 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, setul rezultatelor indicând însă depășirea valorilor întârzierii medii de transmisie cap-la-cap de prag impuse parametrului QoS întârziere pentru aproximativ 30 % din cazurile în care a fost rulată 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: 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 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.

Astfel, 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 6.6.

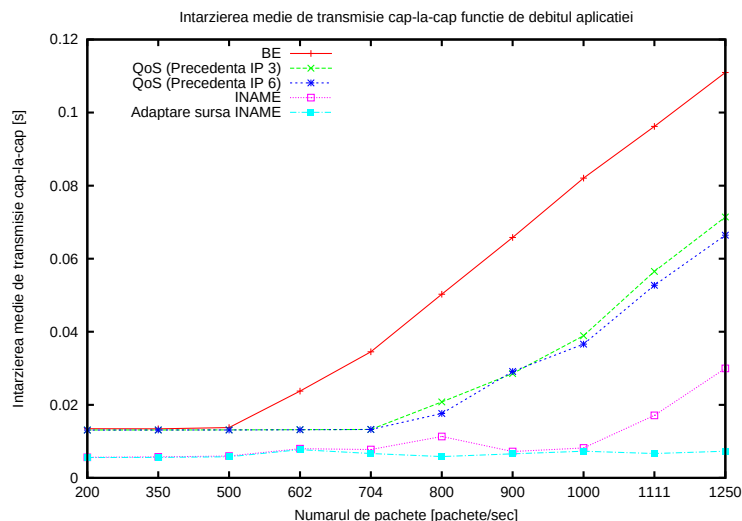


Figura 6.6 Variația întârzierii medii de transmisie cap-la-cap la adaptarea debitului aplicației sursă conform modelului I-NAME rulat în trei faze

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. În Figura 6.7 este reprezentată în 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.

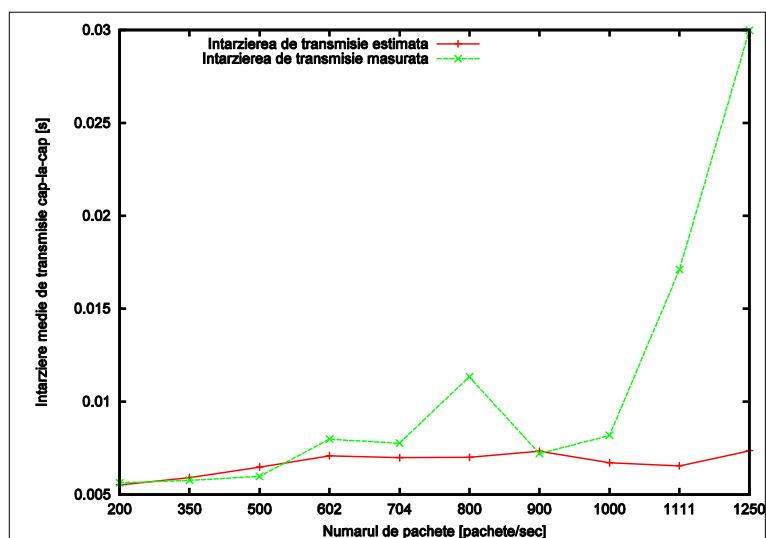


Figura 6.7 Variația întârzierilor de transmisie estimate și măsurate conform mecanismului propus prin modelul I-NAME în cazul variației numărului de pachete transmise per secundă cu valori constante ale dimensiunii pachetului

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. 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 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 pe 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.

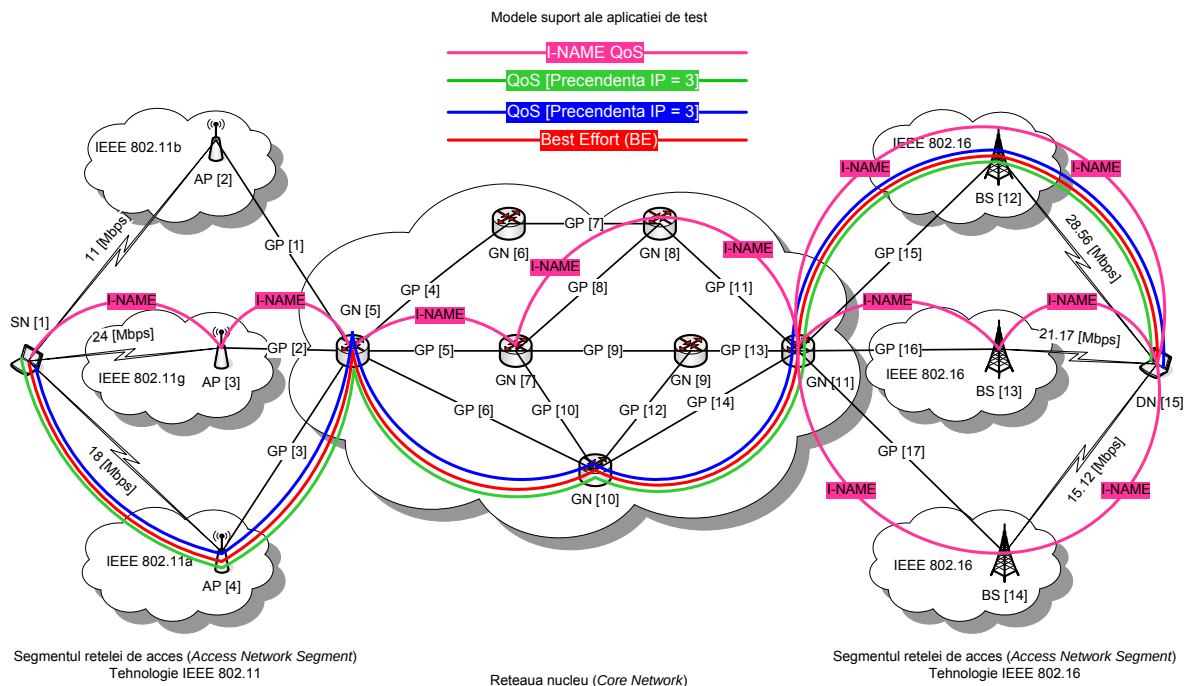


Figura 6.8 Traseul aplicației de test pentru modele suport QoS testate

6.3 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.

6.3.1. 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: 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.

Rezultatele obținute au fost analizate în mod comparativ în termeni de: capacitate de selectare a unui traseu optim din punct de vedere al specificului aplicației rulate și capacitate de asigurare a unei întârzieri medii de transmisie cap-la-cap care să nu depășească o valoare de prag impusă.

În temeni 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% comparativ cu modelul suportul 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 comparativ cu modelul suport de tip Best Effort este de 75.03%.

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.

6.3.2. 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 jitterului nu au reprezentat parametri de interes solicitați de aplicația de test. Pe traseul indicat de modelul 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: 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. 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 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 I-NAME 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.

7. Contribuții la implementarea calității serviciilor în rețelele de telecomunicații

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.

1. Analizând diferite direcții și abordări, teza dă propria definiție a noțiunii 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 percept). **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 retransmișiile. 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], [cncsis-td520].

4. Determinarea specificului mecanismelor QoS inter-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], [cncsis-td520], [broad-d8].

5. Analizarea și evaluarea performanței mecanismelor QoS intra-domeniu în termeni de parametri QoS (întârzierea de transmisie cap-la-cap, jitterul, debitul de transmisie, încărcarea rețelei, numărul cumulat de pachete pierdute) **prin simulare cu ns-2 și QualNet**. 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 precedență 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 WLAN – satelitar și 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 rețea QualNet. Conjuncția 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 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 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]

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., Căruntu, 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, Serbia și Montenegro, IEEE Catalog Number 05EX1072, ISBN 0-7803-9164-0, Volume 2/2, pp. 356-359.
10. [Pus06b] **Pușchiță E.**, Palade T., Căruntu 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] **Puşchiţă, 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, ICSE2006, Coventry, UK, Septembrie 2006 ISBN 1-84600-013-0, pp. 383 – 387.
13. [Cri07a] Crişan N., Cremene L., **Puşchiţă, 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] **Puşchiţă, E.**, Palade T., *Perspectives, Evaluation and Enhancements on Quality of Services for Wireless Networks*, Lucrările sesiunii de comunicări ştiinţifice Doctor Etc 2007, Timişoara, RO, Septembrie 2007, ISBN 978-073-625-494-9, pp. 34 – 39.
15. [Pus07d] **Puşchiţă, 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] **Puşchiţă, 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., **Puşchiţă, 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] Crişan, N., Cremene, L., **Puşchiţă, 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, Romania, Volume III, ISSN 1841-9836, pp. 232 – 237.
19. [Pus08c] **Puşchiţă, 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, Suedia, Iunie 2008, ISBN: 978-1-905824-08-3.
20. [Pal08d] Palade, T., **Puşchiţă, 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] **Puşchiţă, E.**, Palade, T., *An Overview of Intra-Domain QoS Mechanisms Evaluation*, Timişoara, România, Tom 52(66), Fascicola 2, 2008, pp. 58-64.
22. [Pus08f] **Puşchiţă 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), Bucharest, RO, Noiembrie 2008, pp. 91-97, ISSN: 1790-5109, ISBN: 978-960-474-020-8.
23. [Cri08h] Crişan, N., Cremene, L., **Puşchiţă E.**, Palade, T., *Spectral efficiency Improvement for the under-11GHz Broadband Wireless Access*, The 15th International Conference on Telecommunications - ICT 2008 IEEE, St. Petersburg, Rusia, 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, Mai 2006.
25. [Pus05j] **Pușchiță, E.**, Palade, T., *QoS Perspective for Wireless Scenarios*, BroadBand Europe 2005 Workshop, QoS & Security Session, Bordeaux, France, Decembrie 2006.

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.
2. [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.
3. [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 .

Lucrări apărute în reviste jurnal

1. [Pus08f] - (prim-autor) lucrare apărută în *WSEAS International Journal of Communications*, Decembrie 2008.
2. [Pal08a] - (co-autor) lucrare apărută în *International Journal of Communications*, NAUN Publishing House, Decembrie 2008.
3. [Pus08e] - (prim-autor) lucrare apărută în *Transaction on Electronics and Communications*, Buletinul Științific al Universității "Politehnica" din Timișoara, 2008.

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_Prmiul%20de%20Exc elenta_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