



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI

Eduard-Florentin LUCHIAN

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA CONECTIVITATEA NEÎNTRERUPTĂ PENTRU SISTEME DE COMUNICAȚII BAZATE PE CLOUD

Conducător științific,

Prof.dr.ing. Virgil DOBROTĂ

Comisia de evaluare a tezei de doctorat:

- PREȘEDINTE: - Prof.dr.ing. *Aurel Vlaicu*- Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
MEMBRI: - Prof.dr.ing. *Virgil Dobrotă* - conducător științific, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
- Prof.dr.ing. *Eugen Borcoci* -referent, Universitatea "Politehnica" din București
- Prof.dr.ing. *Radu VasIU* - referent, Universitatea "Politehnica" din Timișoara
- Conf.dr.ing. *Daniel Zinca*- referent, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Cuprins	
Cuprins	1
Listă figuri	3
Listă tabele	6
Listă acronime	7
1 Introducere	11
1.1 Conectivitatea neîntreruptă	13
1.2 Infrastructuri de cloud	14
1.3 Motivația tezei	15
1.4 Structura tezei	16
1.5 Concluzii	17
2 Comunicații neîntrerupte unificate în rețele wireless	19
2.1 Introducere	19
2.2 Arhitectura propusă pentru un sistem de comunicații neîntrerupte unificate în rețele wireless	24
2.2.1 Descriere funcțională	31
2.3 Implementare și rezultate experimentale	34
2.4 Concluzii	38
3 Implementarea automată a infrastructurii și serviciilor pentru un cloud privat orchestrat de Openstack	39
3.1 Introducere	39
3.2 Soluții de cloud private	42
3.3 Implementarea OpenStack	45
3.3.1 RDO OpenStack	45
3.3.2 DevStack OpenStack	46
3.3.3 Instalarea manuală pe mai multe noduri a OpenStack	48
3.4 Implementarea automată a serviciilor și infrastructurii OpenStack folosind Chef	52
3.4.1 Tool-uri pentru automatizarea implementării OpenStack	53
3.4.2 Premise și vederea de ansamblu a infrastructurii	56
3.4.3 Rezultate experimentale	58
3.5 Concluzii	62
4 Managementul automat al aplicațiilor în mediul cloud-urilor private	63
4.1 Introducere	63
4.2 Managementul automat al cadrului pentru aplicații în cloud folosind SDN	65
4.2.1 Implementare și rezultate experimentale	70
4.3 Configurarea automată a aplicațiilor folosind scripturi Lua și SPLAY	77
4.3.1 Implementare și rezultate experimentale	79
4.4 Concluzii	84
5 Rutare bazată pe context pentru semnalizări în NFV	85
5.1 Introducere	85
5.2 Infrastructura și definirea contextului pentru NFV	90
5.2.1 Infrastructura NFV în OpenStack	90

5.2.2	Servicii și fluxul datelor în structura rețelei OpenStack	92
5.2.3	Cadru contextului	96
5.2.4	Arhitectura Nagios și integrarea în OpenStack	98
5.2	Implementare și rezultate experimentale	100
5.3	Concluzii.....	106
6	Conectivitatea neîntreruptă a aplicațiilor intra/inter-cloud	107
6.1	Introducere.....	107
6.2	Soluții pentru conectivitate neîntreruptă.....	108
6.2.1	Conectivitate neîntreruptă în Wi-Fi.....	108
6.2.2	Conectivitate neîntreruptă în rețele fir și 4G/LTE	109
6.2.3	Cloud computing extrapolat într-un model matematic	111
6.2.4	Flexibilitatea funcțiilor de rețea virtuala în platforma OpenStack	111
6.3	Potențialul de dezvoltare a sistemelor intra/inter-cloud	112
6.3.1	Conectivitate neîntreruptă pentru intra/inter clouduri OpenStack bazată pe conceptul de holon	114
6.3.2	Conectivitate neîntreruptă pentru aplicații IoT în OpenStack.....	117
6.4	Concluzii.....	128
7	Contribuții privind conectivitatea neîntreruptă pentru sisteme de comunicații aflate în cloud	129
7.1	Sumarul contribuțiilor.....	129
7.2	Observații finale	132
7.3	Distincții	134
7.4	Publicații personale.....	134
7.4.1	Reviste BDI	134
7.4.2	Conferințe ISI Proceedings	134
7.4.3	Conferințe BDI	135
7.4.4	Rapoarte tehnice	135
7.4.5	Rapoarte de cercetare	136
7.5	Proiecte	136
	Referințe.....	137
	Anexa 1 - On the Impact of Indirect WAN Routing on Geo-Replicated Storage.....	147
	Anexa 2 - Mobile Wireless Sensor Network Gateway: A Raspberry Pi implementation with a VPN backend to OpenStack.....	153
	Curriculum Vitae.....	158

1 Introducere

Mobilitatea a devenit catalizatorul activității umane și, de asemenea, al sistemelor de comunicații. Pentru a furniza serviciile solicitate și pentru a ține pasul cu evoluția rapidă a infrastructurii, conceptele furnizorilor consacrați sunt înlocuite cu altele noi, cum ar fi Cloud Computing. Necesitatea redefinirii infrastructurii provine din faptul că aplicațiile moderne acordă puțin sau deloc interes infrastructurii de bază. Acest lucru este încurajat și de faptul că rețelele de telecomunicații din ultimii ani au înregistrat o schimbare revoluționară față de mecanismele all-IP. În plus, limitele consacrate dintre infrastructura IT și infrastructura de telecomunicații încep, de asemenea, să se prăbușească.

Un alt aspect în schimbarea evoluției în comunicațiile recente este faptul că tot mai multe din funcțiile de rețea sunt disponibile ca funcții software. În plus, abstractizarea rețelei a făcut-o mai accesibilă în ceea ce privește controlul canalului prin semnalizare. Astfel, interesul pentru instrumente și algoritmi specializați care se ocupă de rețea prin intermediul semnalizării a crescut. Cu aceasta, se poate spune că paradigma s-a schimbat, mobilitatea terminală fiind abordată în termeni de mobilitate pre-call și mid-call, servere de prezență în loc de zone de locație, registre de vizitatori sau locații de domiciliu. În esență, acești termeni se referă la tehnici care permit schimbarea unui punct de atașare a rețelei fără a pierde conectivitate (mobilitate pre-call) sau continuitate (mobilitate mid-call). În contextul cloud computing, aceste concepte sunt ușor integrate datorită infrastructurii definite ca software.

Serviciile de rețea actuale sunt construite cu aparate proprietare și pe diferite dispozitive de rețea care au un scop specific. Prin urmare, se poate spune că rețeaua se confruntă cu o rigidizare în ceea ce privește funcționarea adăugărilor de servicii și actualizarea rețelelor. Conceptul de virtualizare abordează această problemă și are ca obiectiv decuplarea procesării rețelelor, de la nivelul aplicațiilor, de hardware-ul suportat, permițând astfel implementarea serviciilor de rețea ca software. Prin urmare, European Telecommunications Standards Institute (ETSI) a propus conceptul de Network Function Virtualization (NFV) pentru a defini procesul prin care funcțiile de rețea ale unor dispozitive dedicate anterior sunt realizate ca un serviciu furnizat de software. În plus, o astfel de abordare asigură furnizarea flexibilă a funcțiilor de rețea bazate pe software, pe lângă o infrastructură fizică partajată în mod ideal.

Un concept concurent pentru NFV care a revoluționat rețelele este Software Defined Networking (SDN). Integrarea directă a noilor abstracții în infrastructura rețelei facilitează integrarea SDN cu NFV pentru a obține topologii și mai complexe și, în același timp, să le mențină ușor de gestionat. În timp ce NFV furnizează infrastructura, atunci când se aplică concepte SDN într-o astfel de topologie, provocările managementului dinamic al resurselor și orchestrarea serviciilor inteligente sunt mai accesibile. Prin această simbioză este creat un serviciu virtual într-un mediu dinamic pentru fiecare lanț de servicii, astfel încât să fie evitat orice upgrade de hardware dedicat sau munca intensivă aferentă unuia.

În plus, acest concept de virtualizare încurajează automatizarea configurației actuale a rețelei, furnizării și gestionării acesteia. Astfel, complexitatea și timpul de operare sunt semnificativ reduse, iar erorile umane sunt, de asemenea, reduse dramatic, ceea ce oferă o scalabilitate mai bună. Au fost dezvoltate diferite instrumente, cum ar fi Ansible, Chef și Puppet, care permit o dinamică a infrastructurilor, dezvoltate printr-un nivel ridicat de automatizare și abstractizare. Aceste soluții oferă un management ușor și servicii mai ieftine în rețeaua locală, în rețelele de întreprinderi, în centrul de date și chiar și în rețelele de furnizori de servicii Internet.

Deși conceptele NFV, SDN și Cloud nu sunt atât de vechi, se maturizează rapid, iar era Internet on Things (IoT) este în curs de apariție. Această nouă paradigmă va oferi obiectelor și chiar conținuturilor generate capacitatea de a comunica cu alte medii. În acest mediu nou, fiecare obiect va genera date, dar nu va rămâne brut așa cum este astăzi, ci va fi personalizat pentru utilizatori pe baza nevoilor lor și chiar va converge cu alte date. Deși conceptul de IoT este simplu, el are capacitatea de a schimba întreaga paradigmă a tehnologiei consacrate. Conceptul de bază din spatele acestuia se bazează pe interfețele de rețea încorporate în obiecte care permit comunicarea între ele și oferă diverse servicii pentru utilizatori. Astfel, un identificator unic, cum ar fi un Internet Protocol (IP), va fi atribuit fiecărui dispozitiv, astfel încât să poată comunica în Internet prin mediul de rețea IoT. Spre deosebire de perioada precedentă, IoT-ul permite utilizatorilor să obțină date direct de la rețeaua locală și nu numai de la furnizor. Prin urmare, această capacitate uzitează utilizarea IoT pentru a oferi un serviciu inovator pentru industrie, mediul academic și chiar pentru uz personal.

În lumea IoT, concepte precum calculul omniprezent și contextual devin din ce în ce mai importante. Interacțiunea dintre obiectele nou definite va genera neîndoielnic, cantități de date mai mari ca niciodată, ceea ce implică utilizarea unei abordări diferite privind gestionarea datelor și a infrastructurii. Aici intervine cloud computing-ul, totuși, managementul resurselor, crearea de servicii, managementul serviciilor, descoperirea de servicii, stocarea datelor și gestionarea energiei pentru mediul IoT necesită o mult mai bună infrastructură și un mecanism mai sofisticat, decât cel oferit de cloud. De aceea au fost propuse concepte precum Cloud of Things (CoT). Sistemele de senzori de rețea, ca cele mai multe sisteme integrate, trebuie să fie strâns legate de aplicațiile lor. În plus, progresele recente au contribuit la reducerea complexității implementării sistemelor de detectare și acționare fără fir.

Calculul ubicuit (inclus în română din termenul englez “ubiquitous computing”, adică calcul omniprezent) este un alt concept modern în care procesarea informațiilor a fost integrată temeinic în obiecte și activități de zi cu zi. Acest lucru este de asemenea cunoscut sub numele de edge computing, concept care facilitează mobilitatea deoarece infrastructura furnizorilor de servicii este disponibilă acum prin NFV și SDN. În timp ce infrastructura NFV oferă nivelul necesar de dinamică și reconfigurabilitate, un controler de rețea definit de software este necesar pentru o vedere globală a infrastructurii. Cu o imagine de ansamblu asupra rețelei, pot fi definite noi mecanisme de rutare complexe, cum ar fi contextul, bazat pe specificul aplicațiilor și tehnologia de acces.

Aplicațiile, atunci când combină conceptele și tehnologiile prezentate, sunt nesfârșite. Cu toate acestea, accentul în această teză este pus pe la sistemul de comunicații care, spre deosebire de noile paradigme, trebuie să asigure, pe de o parte, compatibilitatea cu tehnologia consacrată și, pe de altă parte, să aducă inovații care vor intriga utilizatorul. Altfel, conceptul SDN care este responsabil pentru decuplarea controlului de rețea (Procesul de rutare) de la funcțiile de redirectionare (Data Plane) și este folosit intens pe parcursul următoarelor implementări prezentate nu este domeniul de aplicare al tezei. Fuziunea conceptelor reprezintă țelul, acestea separat sunt inovatoare în ceea ce privește comunicațiile, dar numai împreună pot oferi rezultatul dorit primar, care este conectivitatea fără întrerupere. Conceptul este urmărit de la un mediu local la unul global și omniprezent, implicând astfel necesitatea NFV, SDN, Cloud Computing, mecanisme de automatizare, rutare bazată pe context și modele de abstractizare înaltă pentru a crea un concept reutilizabil și adaptabil la infrastructură pentru orice tehnologie de acces pe care o aduce zorii zilei de mâine.

1.1 Conectivitatea neîntreruptă

În lumea actuală a tehnologiei informației, una dintre cele mai răspândite și complexe provocări este obținerea "unor informații specifice anumiți utilizatori la un moment dat". Materializarea acestui concept implică o conectivitate permanentă între oameni, brokeri de software și diverse sisteme de comunicații. Asemenea conexiuni sunt esențiale pentru a sprijini comunitățile în care schimbul de date și informații este permanent.

Computing-ul omniprezent este considerat în ultimii ani drept unul dintre cele mai atractive domenii de cercetare. Astfel, sectoarele academice și industriale desfășoară diverse cercetări în acest domeniu. Sarcina principală a sistemelor de calcul omniprezente este ca toate componentele de mediu să fie conectate la rețea. Acesta este motivul pentru care conectivitatea neîntreruptă este o componentă imperativă în sistemele moderne de comunicații. Implementarea unei scheme de gestionare a mecanismului de transferare între dispozitivele de rețea eterogene ar trebui să fie efectuată ținând cont de caracteristicile fiecărei interfețe. Cu toate acestea, abordările de până acum au presupus doar că, această conectivitate neîntreruptă este furnizată fără să se țină seama de modul în care se realizează. În infrastructura definită de software, operația de transfer nu se mai bazează pe factori de rețea, cum ar fi semnalul și latența, ci mai degrabă ia în considerare informațiile de context, de ex. cerințele aplicației.

În prezent, conectivitatea wireless este, încă, împărțită în trei categorii primare, pe baza cerințelor de acoperire și mobilitate: rețeaua fără fir WWAN (de exemplu: sistemele celulare cu arie largă de acoperire), rețeaua locală wireless WLAN (acoperire locală) și rețeaua personală wireless WPAN (de exemplu: Home Frequency Radio, Bluetooth etc. care acoperă spațiul de la birou sau de acasă) [Jha02]. O altă categorie care a fost introdusă mai târziu este rețeaua metropolitană MAN (conectivitatea rețelei unui oraș). Deoarece mobilitatea utilizatorilor este mare, interacțiunea cu toate tipurile de tehnologii fără fir poate avea loc într-o perioadă foarte scurtă de timp sau în cea mai mare parte în același timp (vezi Tabelul 1):

Arie	Aplicabilitate	Standarde
Rețea în proximitatea personală	IoT (acasă)	Bluetooth, Z Wave, NFC
Rețea de arie locală	Conexiune la Internet (acasă, la serviciu)	802.11a, 802.11b/g/n, 802.11ac
Rețea de arie metropolitană	Backup de comunicare (acasă, în oraș)	IEEE 802.16 (WiMAX)
Rețea de arie largă	Comunicare mobilă (acasă, global)	GSM, 3G, 4G/ LTE, 5G, satelit

Tabelul 1 Categorii de conectivitate wireless

Din păcate aceste patru standarde s-au dezvoltat izolat și nu au fost concepute pentru a comunica între ele. Cu toate acestea, contextul actual de comunicare, în care un utilizator are un singur dispozitiv care acceptă toate schemele fără fir, împinge spre necesitatea unei fuziuni. În plus, utilizatorul trebuie să caute continuu și să găsească tipurile de canale disponibile de acces fără fir și să instruiască manual aplicațiile să le utilizeze. Prin urmare, necesitatea unui mecanism care, indiferent de capacitatea tehnologiei dispozitivului sau a accesului, poate oferi o conectivitate perfectă este imperativă. Toate problemele discutate anterior se întâlnesc sub o "umbrelă" a cloudului, mediul în care această teză propune o soluție.

1.2 Infrastructuri de cloud

Puterea de calcul ca "utilitate" este ceva ce oamenii de știință și industria IT au căutat de câteva decenii. Principiul este mai degrabă similar cu conectarea unui aparat la o priză de alimentare, utilizatorul final nefiind preocupat de modul în care este generată energia sau cum ajunge la acea priză. Acest principiu ascunde generatoarele de energie și rețeaua de distribuție uriașă. Atunci când principiul este extins la IT, acest concept înseamnă furnizarea de funcții utile, ascunzând în același timp modul în care funcționează părțile interne ale acestora. În plus, acest model de afaceri permite, de asemenea, punerea în aplicare a unui sistem "pay-as-you-go", care îl face să fie și mai atrăgător pentru consumatorii finali.

Într-una din primele definiții ale Cloud Computing, Institutul Național de Standarde și Tehnologie (NIST) îl definește ca un model de furnizare și acces la servicii în care resurse scalabile dinamic și virtualizate sunt furnizate ca un serviciu prin Internet. Buyya și colab. [Buy09] îl definesc ca un sistem computerizat paralel și distribuit care constă dintr-o colecție de computere interconectate și virtualizate care sunt furnizate dinamic și prezentate ca una sau mai multe resurse de calcul unificate bazate pe acorduri la nivel de serviciu (SLA) stabilite prin negociere între furnizorul de servicii și consumatori. Conceptul a ajuns la maturitate și la standardizare concentrându-se asupra unor caracteristici esențiale definite în [Mel11]:

- **Disponibilitate la cerere** - consumatorii de servicii de cloud computing primesc, la cerere, acces instantaneu la resurse. Prin urmare, cererea, plata, precum și utilizarea serviciilor trebuie să fie posibile fără intervenția operatorului uman.
- **Disponibilitatea resurselor de calcul:** Utilizatorii de cloud nu trebuie să planifice resursele de calcul provizorii în avans, au potențialul de a accesa resursele de calcul, făcând pur și simplu o cerere.
- **Elasticitate rapidă:** Resursele de calcul pot fi furnizate într-o manieră elastică și rapidă, permițând utilizatorilor să cumpere servicii de calcul în orice moment la diferite granularități și să fie capabili să scaleze aceste servicii în funcție de nevoile lor.
- **Limitarea investițiilor inițiale:** Acest lucru permite companiilor să înceapă de jos și să crească succesiv resursele hardware și software numai atunci când este necesar.
- **Plata pe termen scurt pentru utilizare:** Utilizatorii sunt în măsură să plătească pentru utilizarea serviciilor cloud pe termen scurt.
- **Accesul la rețea de pe orice dispozitiv:** Serviciile de calculator sunt accesate prin rețea și prin intermediul unor mecanisme standard, permițând astfel utilizatorilor să conecteze mai multe dispozitive la cloud (de exemplu, laptopuri, telefoane mobile).
- **Partajarea resurselor:** Serviciile de cloud ale furnizorilor sunt grupate pentru a servi mai mulți clienți utilizând un model multi-tenant, cu diferite resurse fizice și virtuale atribuite dinamic și realocate în funcție de cererea consumatorilor.
- **Serviciul de măsurare:** Serviciile de cloud ale furnizorilor sunt grupate pentru a servi mai mulți clienți folosind un model multi-tenant, cu resurse fizice și virtuale diferite alocate dinamic și realocate în funcție de cererea consumatorilor.

Cloud computingul poate fi definit fie printr-un nivel de abstractizare al capacității furnizate și a modelului de serviciu al furnizorilor, fie pe baza locației de implementare. Pentru primul caz, serviciile de cloud computing sunt împărțite în mai multe niveluri de servicii [OECD14]: Software as a Service (SaaS); Platform as a Service (PaaS), Infrastructure as a Service (IaaS), securitatea ca serviciu (SECaaS), metalul ca serviciu (MaaS), etc. Primele trei sunt considerate servicii de bază pentru Cloud Computing. Această din urmă perspectivă împarte cloudul în patru modele bazate pe locație, și anume [OECD14]: (1) privat; (2) public; (3) hibrid; și (4) comunitar.

1.3 Motivația tezei

Motivația acestei teze a având ca punct de plecare munca realizată în două lucrări: prima a fost lucrarea de disertație în care se abordează aspectul conectivității fără întreruperi în rețelele Wi-Fi pentru o sesiune Voice over IP (VoIP). Deși conceptul de mobilitate și conectivitate fără întreruperi funcționează bine în sistemele special proiectate, cum ar fi rețelele de telefonie celulară unde utilizatorii se deplasează liber în zona de acoperire a unei rețele date fără întreruperea serviciului, în infrastructurile bazate pe IP conceptul nu poate fi aplicat. Noutatea acestei lucrări de disertație a fost faptul că este asigurată continuitatea sesiunii în timpul unei schimbări a Punctului de Acces (AP) prin abordarea dinamică a procesului la stratul aplicație a sistemului propus. Atât mobilitatea pre-call cât și cea mid-call au fost testate, rezultând informații despre serviciile de prezență pentru clienți în cazul celei dintâi și o schimbare fără întreruperi a destinației pachetelor de voce ori de câte ori un client și-a schimbat punctul de conectare pentru cea din urmă.

Al doilea punct l-a constituit activitatea efectuată anterior în UC Labs și prezentată în [Uli14]. În timp ce lucrarea urmărește să demonstreze că, folosind o platformă de testare bazată pe OpenFlow, este posibilă o selectare reală a algoritmului de rutare în cutie de viteze în timpul rulării, aceasta prezintă și ideea de rețea definită de software. Prin introducerea unui controler de rețea definit de software (Beacon), rețeaua ar putea fi controlată într-o manieră decuplată și abstractă.

Combinarea celor două abordări conduce la noi evoluții și obstacole în ceea ce privește comunicarea unificată și asigurarea unei conectivități fără întreruperi între tehnologiile de acces. Astfel, s-a decis dezvoltarea unei platforme de testare care să integreze alte controlere SDN, cum ar fi Pyretic, OpenDaylight și Cisco APIC-EM și să utilizeze noile concepte precum Virtualizarea Funcțiilor de Rețea (NFV) și rutarea contextuală bazată pe metrici de rețea, One Way Delay (OWD), Active Transfer Rate (ATR) și specificul aplicației, mesaje de semnalizare sau traficul de date. Domeniul de aplicare a fost acela de a asigura o conectivitate fără întreruperi la scară mai largă, adică pentru sistemele de comunicații în cloud. Progresele au fost implementate într-un mediu orchestrat OpenStack cu aplicații care se regăsesc în două proiecte de cercetare (în curs de desfășurare), după cum urmează.

Primul proiect este denumit CHIST-ERA "DIONASYS Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems". A început în ianuarie 2015 și include patru instituții: Universitatea din Neuchâtel (Elveția), Universitatea din Bordeaux (Franța), Universitatea Lancaster (Marea Britanie) și Universitatea Tehnică Cluj-Napoca (România). Scopul este "simplificarea programării sistemelor complexe și eterogene, permițând un nivel mai ridicat de abstractizare și permițând caracteristici avansate, cum ar fi adaptarea automată, interoperarea automată și susținerea rețelelor programabile pentru aceste sarcini". Un nou instrument de estimare OWD și un testbed orchestrat OpenStack discutat anterior au fost dezvoltate ca parte a lucrărilor din acest proiect. Măsurarea activă a latenței nu necesită sincronizarea nodurilor și se bazează pe metoda întârzierii ciclului în cloud. Originalitatea implementării este legată de încălcarea normelor de transmisie bine-cunoscute.

În al doilea rând, un proiect național "URBIVEL-Tehnologii avansate pentru vehicule electrice inteligente urbane" (lansat în octombrie 2016) a oferit posibilitatea de a investiga un nou caz de utilizare pentru conectivitatea fără întreruperi. Acest lucru se datorează mobilității vehiculelor și necesității de a asigura conectivitate permanentă între toți participanții (adică autovehicule) la infrastructură. Mai mult, prin implicarea rețelelor de senzori, proiectul "împinge" studiile de doctorat către Internet of Things (IoT).

Rezultatele acestei lucrări au fost validate de mai multe publicații la următoarele conferințe: IEEE LANMAN 2016 și IEEE LANMAN 2017, IEEE ISETC 2014 și IEEE ISETC 2016, IEEE RoEduNet, edițiile 2015, 2016 și 2017, IEEE COMM 2014 și IEEE COMM 2016 și IEEE SOFTCOM 2017. Au fost publicate două articole în ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Electronică și Telecomunicații.

1.4 Structura tezei

Această teză este organizată după cum urmează:

Capitolul 2 “Comunicații neîntrerupte unificate în rețele wireless” prezintă implementarea unei componente de mobilitate la nivelul aplicației, într-o rețea Wi-Fi care asigură o conectivitate fără întreruperi pentru o sesiune VoIP în timpul unui transfer între puncte de acces. Soluțiile se ocupă atât de mobilitate pre-call cât și de mobilitate mid-call precum și de securitatea sesiunii standard VoIP prin implementarea unui algoritm AES care funcționează în modul Cipher Block Chaining, oferind astfel o criptare.

Capitolul 3 “Implementarea automată a infrastructurii și serviciilor pentru un cloud privat orchestrat de Openstack” se concentrează pe implementarea automată a unui cloud orchestrat de către OpenStack și pe rezolvarea problemelor legate de virtualizarea testbed-urilor fizice anterioare. Automatizarea a fost efectuată pe două nivele, atât pentru infrastructură, cât și pentru suita de software, folosind Chef. Mai mult, s-a demonstrat că, în mediul de rețea virtualizat, cantitatea de memorie RAM disponibilă pe mașina gazdă reprezintă un aspect critic.

Capitolul 4 “Managementul automat al aplicațiilor în mediul cloud-urilor private” este dedicat gestionării automate a aplicațiilor într-un testbed virtualizat orchestrat de OpenStack. Un open-source framework intitulat SPLAY, bazat pe Lua, a fost ales pentru implementare. Automatizarea dezvoltată în această contribuție permite stratului aplicație să țină pasul cu dinamica infrastructurii suprapuse.

Capitolul 5 “Rutare bazată pe context pentru semnalizări în NFV” abordează sistemele moderne de comunicații cu noile concepte, cum ar fi NFV și SDN. O implementare a unui sistem de luare a deciziilor conștientă de context a fost definită sub forma unui algoritm de rutare bazat pe context pentru un mediu virtualizat în cloud. Algoritmul a fost testat într-o infrastructură de rețea suprapusă, adaptabilă pentru un cloud privat distribuit geografic.

Capitolul 6 “Conectivitatea neîntreruptă a aplicațiilor intra/inter-cloud” descrie cazul de utilizare a conectivității fără întreruperi în IoT unde ubiquitatea este termenul care definește mediul. Independența obținută prin schimbări ale infrastructurii la layer scăzut a fost implementată printr-un model de abstractizare la un nivel înalt definit, acest concept fiind definit ca Holon. O implementare privind mobilitatea între diferite tehnologii de acces (3G / 4G - WiFi - Ethernet) ale unui gateway de rețea mobilă pentru senzori wireless între acestea pune accentul pe scalabilitatea și omniprezența cerințelor cheie ale CHIST- DIONASYS "și URBIVEL.

Capitolul 7 “Contribuții privind conectivitatea neîntreruptă pentru sisteme de comunicații aflate în cloud” prezintă un rezumat al celor cinci contribuții prezentate în capitolele anterioare. Acesta include, de asemenea, unele remarci finale, premii și o listă de publicații personale.

1.5 Concluzii

Conectivitatea neîntreruptă a devenit mai mult decât o simplă dorință, ea este o nevoie stringentă în contextul sistemelor de comunicare moderne. Mediul heterogen al IoT oferă cel mai bun caz de utilizare pentru astfel de concepte. Cererea poate fi îndeplinită prin combinarea modelelor de virtualizare și abstractizare în cadrul unui management centralizat. În plus, orice mecanism actual trebuie să asigure compatibilitatea dintre sistemele vechi și viitoarele dezvoltări ale comunicațiilor, cheia pentru a asigura acest lucru fiind reprezentată de o infrastructură definită de software.

Soluția propusă în această teză de doctorat are ca scop furnizarea unor mecanisme reutilizabile de adaptare a rețelei pentru a face față dinamicii noilor cerințe în Internetul viitorului. Integrarea într-un mediu de tip cloud îl face ușor de implementat și extrem de scalabil. Prin urmare, conceptul a fost proiectat astfel încât să fie mai puțin vulnerabil față de infrastructura fizică a cloud-ului printr-un nivel ridicat de definiție a abstractizării. Mai mult decât atât, sistemul propus oferă o soluție completă în ceea ce privește calitatea serviciilor de utilizare și experiența utilizatorului bazată pe parametrii de performanță ai rețelei atât în rețele tradiționale, cât și în rețele de tip cloud.

2 Contribuții la conectivitatea neîntreruptă pentru sisteme de comunicații bazate pe cloud

2.1 Sumarul contribuțiilor

Această secțiune prezintă o sinteză a contribuțiilor discutate în capitolele anterioare.

-  **1** Comunicații neîntrerupte unificate în rețele wireless
-  **2** Implementarea automată a infrastructurii și serviciilor pentru un cloud privat orchestrat de Openstack
-  **3** Managementul automat al aplicațiilor în mediul cloud-urilor private
-  **4** Rutare bazată pe context pentru semnalizări în NFV
-  **5** Conectivitatea neîntreruptă a aplicațiilor intra/inter-cloud

1. Comunicații neîntrerupte unificate în rețele wireless

Această contribuție reprezintă principala motivație a tezei de doctorat, mobilitateafind considerată un catalizator pentru sistemele moderne de comunicații. Spre deosebire de rețelele de telefonie mobilă, mobilitatea terminalelor prin intermediul rețelelor bazate pe IP este abordată în termeni de servere de mobilitate și prezintă la apeluri pre-call și mid-call în loc de zone de localizare, de vizitatori sau de locații de domiciliu. Conceptul de conectivitate fără întreruperi în raport cu cele menționate anterior este adresat pentru un apel VoIP plasat într-o rețea Wi-Fi dacă punctul de acces (AP) este schimbat la jumătatea apelului. Pentru aceasta, a fost făcută o implementare la stratul aplicație al dispozitivelor mobile inteligente din sistem. Mobilitatea pre-call este implementată utilizând un server de prezență care acționează ca un DNS pentru utilizatorii în mișcare. În timpul apelului a fost folosit un protocol bazat pe UDP numit TeamSpeak2, care a dus la necesitatea de a avea un buffer pentru pachetele pierdute în timpul schimbării AP. După experimente s-a ajuns la concluzia că 512 octeți au fost suficienți pentru buffer. Mobilitatea la nivel de apel telefonic a fost rezolvată prin păstrarea socketului aplicației pentru sesiunea VoIP atunci când punctul de atașament este modificat și schimbând dinamic adresa IP înainte de încapsulare. Problema de securitate a oricărui sistem de comunicații fără fir nu a fost lăsată deoparte fiind soluționată prin implementarea unui algoritm Advanced Encryption Standard (AES) care lucrează în modul Cipher Block Chaining (CBC), oferind astfel o siguranță superioară conexiunilor de aplicații specifice. Cu toate acestea, implementarea a dus la necesitatea unui sistem mai scalabil și mai independent de aplicații în contextul internetului. Aceasta prezintă noi provocări în ceea ce privește performanța infrastructurii, care au fost abordate prin intermediul optimizării prin utilizarea Objective Functions-delay pentru semnalizare. Din rezultatele obținute s-a ajuns la concluzia că, pentru un mediu de comunicare omniprezent, parametrii, cum ar fi arhitectura infrastructurii și performanța, trebuie luați în considerare pentru a crea un sistem care să permită o conectivitate fără întreruperi.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 2
Publicații: [Luc14], [Com15], [Luc15]

2. Implementarea automată a infrastructurii și serviciilor pentru un cloud privat orchestrat de Openstack

Obiectivul acestei contribuții este automatizarea implementării unei infrastructuri cloud private și a serviciilor care, efectuate manual, nu reprezintă o sarcină banală. Deși există mai multe instrumente de automatizare disponibile, ele se concentrează în cea mai mare parte pe pachete și configurații specifice, astfel rezultând nevoia unei soluții specifice și mai configurabile. Soluția propusă reunește trei pachete software foarte puternice pentru a oferi o implementare completă a cloud-ului, și anume Chef, Vagrant și VirtualBox. Particularitatea implementării este că, atât infrastructura de bază, cât și configurația post-instalare a serviciilor sunt efectuate. În comparație cu o instalare manuală, timpul necesar a scăzut de la zeci de minute la cel mult 2 minute pentru implementarea unui nou nod de cloud și a infrastructurii de rețea virtuală corespunzătoare în configurație completă. Implementarea rapidă a infrastructurii a facilitat diferitele configurații testate. Unul dintre cele mai semnificative rezultate este faptul că performanța rețelei virtuale în ceea ce privește One Way Delay (OWD) și Active Transfer Rate (ATR) s-a dovedit a fi corelată cu cantitatea de memorie RAM din nodurile de rețea. Pentru o implementare multi-nod de OpenStack pe un computer cu un procesor de performanță uzuală sa ajuns la concluzia că este necesar un minim de 32 GB de RAM pentru a obține performanțe similare pentru o rețea definită de Network Function Virtualization (NFV) față de un NIC fizic. Evaluarea generală a performanței în ceea ce privește parametrii menționați anterior a arătat că o platformă de testare a software-ului (SDN) care utilizează NFV în cloud oferă performanțe mai bune atunci când este configurată în mod corespunzător decât una fizică. În plus, costurile de realizare a unui testbed complex sunt reduse semnificativ atunci când se adoptă o astfel de abordare. Succesul infrastructurii a încurajat împingerea către infrastructuri și scenarii mai complexe definite de software folosind APIC-EM SDN controller.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 3
Publicații: [Luc16a], [Luc16b], [Dio16b], [Luc16d], [Ghe17]

3. Managementul automat al aplicațiilor în mediul cloud-urilor private

Principalul obiectiv al acestei contribuții este implementarea și gestionarea automată a aplicațiilor care utilizează posibilitățile NFV ale cloud-ului. Programarea rețelei a fost unul dintre obiectivele principale, astfel încât o aplicație SDN a fost aleasă pentru implementare. O implementare fizică anterioară a unui testbed SDN a furnizat un punct de referință solid pentru analiza performanțelor atunci când acesta a fost migrat într-un mediu cloud. Având în vedere că mediul în contextul NFV este mai dinamic decât în lumea fizică, gestionarea automată a oricărei aplicații este obligatorie. Acest fapt a impus dezvoltarea și controlul automat al unei rețele cloud utilizând limbajul de scriere Lua și caracteristicile implementării automate a software-ului SPLAY. S-a demonstrat că SPLAY ar putea ajuta la un control automat al unui testbed, oferind o gestionare ușoară a aplicațiilor și a configurațiilor respective într-o manieră dinamică și fără probleme. Mai mult, automatizarea aplicațiilor personalizate dezvoltate a fost implementată într-o platformă gestionată de Pyretic SDN controller scrisă folosind politici de algoritmi de nivel înalt. Pyretic a fost ales din cauza capacității sale de a abstraționa și conexe algoritmi. Două funcționalități suplimentare, calculul dinamic al celei mai scurte căi și vizualizarea topologiei în timp real, au fost integrate folosind modulele Python dezvoltate. De asemenea, a fost dezvoltat un modul personalizat de urmărire a dispozitivelor IP în modulul de testare APIC-EM SDN.

Rezultatele au oferit o linie de bază pentru o posibilă implementare inter-cloud a scripturilor de configurare.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 4
Publicații: [Luc16a], [Luc16b], [Dio16b], [Luc16d], [Lup16], [Pad16], [Ghe17]

4. Rutare bazată pe context pentru semnalizări în NFV

În această contribuție, a fost efectuată o analiză profundă a fluxului de date pentru o rețea NFV. S-a ajuns la concluzia că rutarea controlată de software a infrastructurii de rețea de bază ar putea fi realizată contextual pe baza parametrilor de semnalizare și QoS. Mediul dinamic a impus implementarea unui instrument de monitorizare automată cu o bază de informații de management modificată. Astfel, un MIB modificat pentru un instrument de monitorizare bazat pe SNMP care include OWD și ATR a fost dezvoltat și implementat într-o rețea bazată pe cloud. Un algoritm bazat pe raționament (IF-THEN rule) a fost propus și implementat pentru rutarea contextuală în care au fost definiți markerii de servicii pentru diferite tehnologii de acces, parametrii de rețea și aplicațiile. Au fost efectuate experimente implicând definirea unor reguli pentru a permite independența unui serviciu AMQP, o aplicație bazată pe VoIP SIP și o bază de date ZooKeeper într-un mediu bazat pe cloud. Această lucrare poate fi dezvoltată în continuare pentru a genera algoritmi mai complecși, care să asigure rutarea într-o abordare conștientă de context pentru medii neconvenționale și omniprezente, cum ar fi lumea internetului.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 5
Publicații: [Luc17a], [Luc16c], [Luc17b], [Luc16e], [Com15], [Car17], [Tau17]

5. Conectivitatea neîntreruptă a aplicațiilor intra/inter-cloud

Dezvoltările high-end din teză sunt prezentate în această contribuție. Mai întâi, a fost realizată o implementare a algoritmului dezvoltat anterior pentru o conectivitate fără întreruperi bazată pe rutarea contextului în lumea aplicațiilor Intra / Inter-Cloud, care reprezintă centrul proiectului CHIST-ERA "DIONASYS". O aplicație cerută pentru proiect a fost ZooKeeper, o bază de date puternic replicată, căreia i-au fost îmbunătățite performanțele prin controlul infrastructurii unei rețele distribuite geografic, de la margine, prin rutare contextuală bazată pe măsurători active. În plus, această contribuție validează și faptul că, conectivitatea fără întreruperi este o cerință actuală în sistemele de comunicații bazate pe cloud. În al doilea rând, a fost realizat un sistem bazat pe o activitate începută anterior în cadrul UCLabs și a evoluțiilor actuale în care a fost construit un testbed în contextul unei rețele de senzori wireless (WSN) conectată la cloud. Cheia sistemului a fost implementată pe un model Raspberry Pi 3 care a acționat ca un MWSNG și ca un Compute Node în infrastructura cloud. Acesta din urmă oferă o interfață de administrare ușor accesibilă și centralizată pentru aplicațiile implementate într-un mediu distribuit și mobil. Conectivitatea fără întreruperi a fost asigurată prin direcționarea în mod dinamic a fluxurilor active de la WSN la backend-ul aflat în cloud simultan pe diferite tehnologii de acces. Mai mult decât atât, arhitecturile implementate au fost mapate la un model de abstractizare ridicat, care permite upgradarea ulterioară fără a împiedica dezvoltarea componentelor de infrastructură.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 6
Publicații: [Car17], [Tau17], [Luc17b], [Dio17], [Luc17a], [Iva16], [Luc16e]

2.2 Observații finale

Scopul principal al acestei teze a fost de a proiecta și implementa un model de conectivitate neîntreruptă în sistemele de comunicații bazate pe cloud. Cu toate acestea, pe parcursul stagiului de doctorat, contribuțiile au fost ajustate conform cerințelor proiectelor CHIST-ERA "DIONASYS și" URBIVEL", la care am aderat din 2015 și respectiv 2016. Aceasta a impus dezvoltarea prezentată în ultima contribuție legată de conectivitatea permanentă într-un mediu IoT. Mai mult decât atât, ideea de abstractizare a infrastructurii de bază pentru a asigura stabilitatea aplicațiilor în caz de întrerupere a serviciului a fost sporită de la obiectivul inițial prin mobilizarea rețelelor suprapuse și a nivelului superior de abstractizare. Realizările acestei teze de doctorat sunt deja parțial implementate în cadrul CHIST-ERA "DIONASYS". Cu toate acestea, există mai multe componente care sunt în curs de dezvoltare și vor fi incluse în proiectul "URBIVEL".

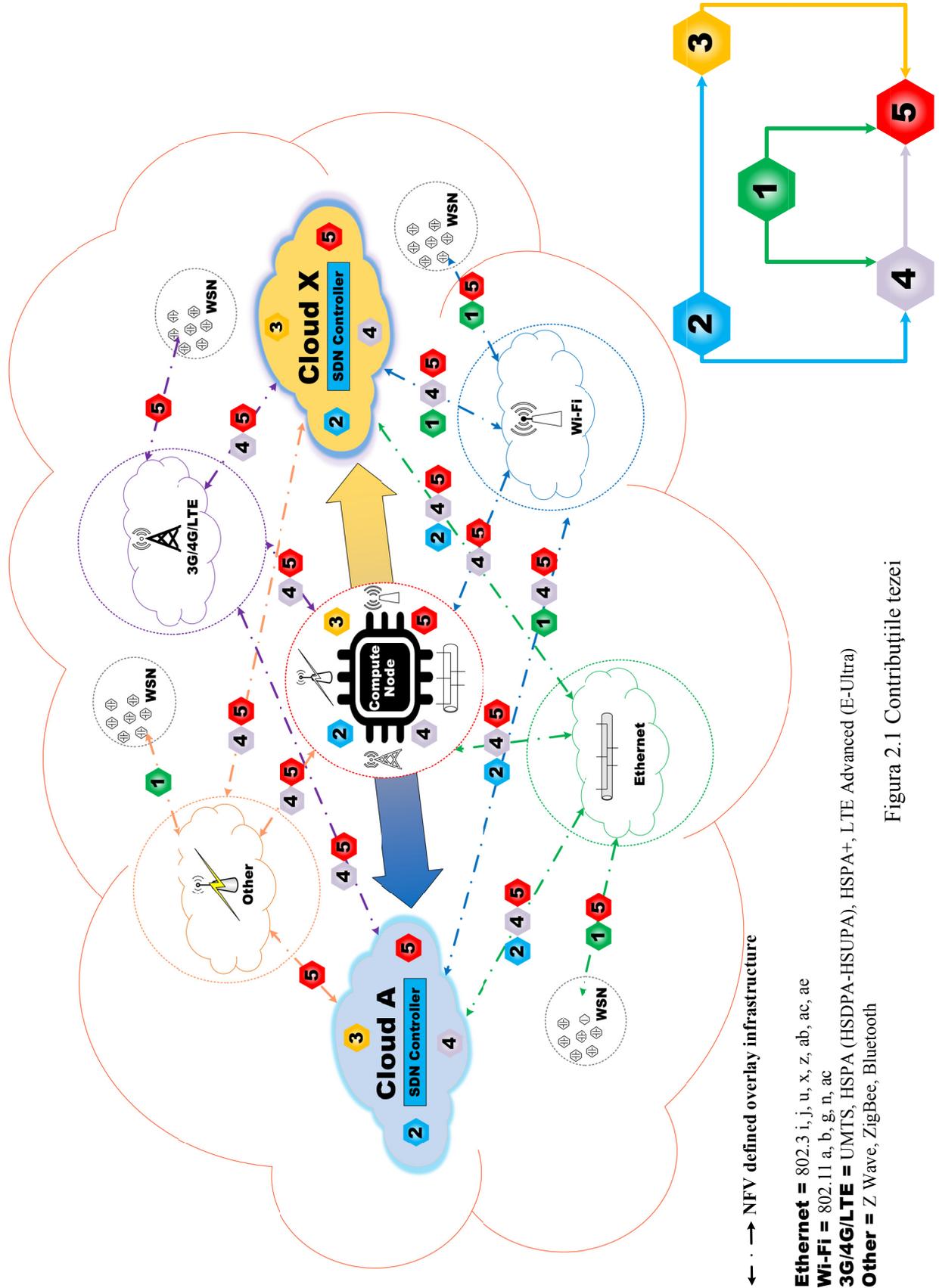


Figura 2.1 Contribuțiile tezei

2.3 Distincții

Îndrumător pentru lucrările care au câștigat Premiul I la Simpozionul Științific Studentesc, organizat de Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, Romania, sesiunile mai 2016 și mai 2017.

2.4 Publicații

2.4.1 Reviste BDI

[Tau17]	A. Taut, I.A. Ivanciu, E. Luchian , and V. Dobrota, "Active Measurement of the Latency in Cloud-Based Networks", <i>ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Electronics and Telecommunications</i> , ISSN 1221-6542, Vol.58, No.1, 2017, pp.22-30
[Luc16a]	E. Luchian , I.A. Ivanciu, A.B. Rus, G. Lazar, and V. Dobrota, "Migration of an SDN-Based Testbed into a Private Cloud: An OpenStack Approach", <i>ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Electronics and Telecommunications</i> , ISSN 1221-6542, Vol.57, No.1, 2016, pp. 1-10

2.4.2 Conferințe ISI Proceedings

[Luc14]	E.Luchian , R. Terebes and M. Cremene. "Design and implementation of a mobile VoIP system on Android." Proceedings of the 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications ISETC 2014, Timisoara, Romania, November 14-15, 2015, pp. 157-161, Electronic ISBN: 978-1-4799-7267-8, DOI: 10.1109/ISETC.2014.7010772
[Com15]	A. Comsa, I.A. Ivanciu, E. Luchian , V. Dobrota, and K. Steenhaut, "End-to-End Delay Minimization in an Application-Aware Routing for Wireless Sensor Networks", <i>14th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research NER'2015</i> , Agency ARNIEC/RoEduNet and University of Craiova, Craiova, Romania, September 24-26, 2015, pp.80-84, Print ISBN: 978-1-4673-8179-6, DOI: 10.1109/RoEduNet.2015.7311832
[Pad16]	M. Padurariu, B. Rosca, I.A. Ivanciu, E. Luchian , A.B. Rus, and V. Dobrota, "Automatic Control of an OpenFlow-Based Network Using Lua Scripts and SPLAY", <i>11th International Conference on Communications COMM 2016</i> , Military Technical Academy, "Politehnica" University of Bucharest, "Electronica 2000" Foundation and IEEE Romania Section, Bucharest, Romania, June 9-11, 2016, pp. 299-302, DOI: 10.1109/ICComm.2016.7528286
[Luc16b]	E. Luchian , C. Filip, A.B. Rus, I.A. Ivanciu, and V. Dobrota, "Automation of the Infrastructure and Services for an OpenStack Deployment using Chef Tool", <i>15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research</i> , University Politehnica Bucharest, September 7-9, 2016, pp. 1-5
[Luc16c]	E. Luchian , P. Docolin, and V. Dobrota, "Advanced Monitoring of the OpenStack NFV Infrastructure: A Nagios Approach Using SNMP", <i>Proceedings</i>

	<i>of the 12th International Symposium on Electronics and Telecommunications ISETC 2016, Timisoara, Romania, October 27-28, 2016</i> , pp. 51-54, Electronic ISBN: 978-1-5090-3748-3, DOI: 10.1109/ISETC.2016.7781055
[Lup16]	F.L. Lupaescu, I.A. Ivanciu, E. Luchian , and V. Dobrota, “A Firewall Application for Performance Evaluation of the Pyretic Controller in Software-Defined Networks”, <i>15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research</i> , University Politehnica Bucharest, September 7-9, 2016, pp. 17-21, ISBN: 978-1-5090-5398-8, Electronic ISSN: 2247-5443, DOI: 10.1109/RoEduNet.2016.7753202
[Iva16]	I.A. Ivanciu, E. Luchian , E. Riviere, and V. Dobrota, “OpenStack-based Clouds as Holons: A Functional Perspective”, <i>22nd IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks LANMAN 2016</i> , Rome, Italy, June 13-15, 2016, Electronic ISSN: 1944-0375, DOI: 10.1109/LANMAN.2016.7548849
[Car17]	R. Carvajal Gomez, E. Luchian , I.A. Ivanciu, A. Taut, V. Dobrota, and E. Riviere, “On the Impact of Indirect WAN Routing on Geo-Replicated Storage”, <i>23rd IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks LANMAN 2017</i> , Osaka, Japan, 12-14 June 2017, pp. 1-6, Electronic ISSN: 1944-0375, DOI: 10.1109/LANMAN.2017.7972171
[Luc17b]	E. Luchian , A. Taut, I.A. Ivanciu, G. Lazar, V. Dobrota, “Mobile Wireless Sensor Network Gateway: A Raspberry Pi implementation with a VPN backend to OpenStack”, <i>Proceedings of the 25th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks IEEE SOFTCOM 2017</i> , Split, Croatia, September 21-23, 2017, pp. 271-275, Electronic ISBN: 978-953-290-078-1, USB ISBN: 978-953-290-074-3, Electronic ISSN: 1847-358X, DOI: 10.23919/SOFTCOM.2017.8115561

2.4.3 Conferințe BDI

[Ghe17]	C.M. Gheorghe, C.M. Iurian, E. Luchian , I.A. Ivanciu, and V. Dobrota, “Applications of the Cisco APIC-EM Software-Defined Networking Controller for a Virtualized Testbed”, <i>Proceedings of the 16th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research</i> , “Petru Maior” University of Targu-Mures, Romania, September 21-23, 2017, pp. 18-23, Electronic ISBN: 978-1-5386-3411-0, Print ISBN: 978-1-5386-3410-3, Electronic ISSN: 2247-5443, DOI: 10.1109/ROEDUNET.2017.8123731
---------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.4.4 Rapoarte tehnice

[Dio16a]	I.A. Ivanciu, E. Luchian , and V. Dobrota, “Implementing Security in the CHIST-ERA “DIONASYS” Testbed”, „ <i>CHIST-ERA DIONASYS “Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems”</i> , Version 1.0, 8 May 2016, 8 pages.
[Dio16b]	I.A. Ivanciu, A. Taut, E. Luchian , and V. Dobrota, “Active Measurements of the One-Way Delay in Cloud-Based Networks”, „ <i>CHIST-ERA DIONASYS</i>

	<i>“Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems”</i> , Version 1.0, 29 September 2016, 18 pages.
[Dio17]	E. Luchian , A. Taut, I.A. Ivanciu, and V. Dobrota, “Mobile Wireless Sensor Network Gateway: A Raspberry Pi implementation with a VPN backend to OpenStack”, „CHIST-ERA DIONASYS <i>“Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems”</i> ”, Version 1.0, 28 May 2017, 10 pages.

2.4.5 Rapoarte de cercetare

[Luc15]	E. Luchian , "Seamless Connectivity in Communications Systems", Ph.D. Scientific Research Report 1 (unpublished), Technical University of Cluj-Napoca, Romania, September 2015
[Luc16d]	E. Luchian , "Private Cloud Solutions: Access and Services", Ph.D. Scientific Research Report 2 (unpublished), Technical University of Cluj-Napoca, Romania, March 2016
[Luc16e]	E. Luchian , "Signaling for Seamless Connectivity in Cloud-Based Communications Systems", Ph.D. Scientific Research Report 3 (unpublished), Technical University of Cluj-Napoca, Romania, September 2016
[Luc17a]	E. Luchian , "Testbed for Seamless Connectivity: Experimental Results", Ph.D. Scientific Research Report 4 (unpublished), Technical University of Cluj-Napoca, Romania, July 2017

2.5 Proiecte

1	C. Martis (coordinator), V. Dobrota, I.A. Ivanciu, E. Luchian (included in list of members), ID P_40_333 "URBIVEL - Advanced Technologies for Intelligent Urban Electric Vehicles", 2016-2018
2	V. Dobrota (coordinator for TUCN), A.B. Rus, I.A. Ivanciu, G. Lazar, E. Luchian (members) et al., „CHIST-ERA DIONASYS "Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems", 2015-2018