



MINISTERUL
EDUCAȚIEI ȘI
CERCETĂRII
ȘTIINȚIFICE



Investește în oameni!

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Axa prioritară: 1, „Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”

Domeniul major de intervenție: 1.5 „Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”

Titlul proiectului: „Parteneriat inter-universitar pentru excelența în inginerie - PARTING”

Cod Contract: POSDRU/159/1.5/S/137516

Beneficiar: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI

Ing. Iustin-Alexandru IVANCIU

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

**Măsurători active pentru rutarea în rețele 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.....	5
Listă figuri.....	8
Listă tabele.....	10
Listă acronime.....	11
1 Introducere.....	13
1.1 Măsurători active.....	14
1.2 Rețele bazate pe cloud.....	15
1.3 Motivația tezei.....	17
1.4 Structura tezei	18
1.5 Concluzii.....	18
2 Măsurători active ale ratei de transfer disponibilă.....	21
2.1 Definiția ratei de transfer disponibilă.....	21
2.2 Probleme legate de măsurarea ratei de transfer disponibilă.....	22
2.3 Modele de test	23
2.4 Tehnici de test	24
2.5 Stadiul actual.....	25
2.6 Estimarea ratei de transfer disponibilă cu ajutorul filtrului Kalman.....	27
2.6.1 Filtrul Kalman.....	27
2.6.2 Folosirea filtrului Kalman pentru estimarea ratei de transfer disponibilă.....	28
2.6.3 ATRAM.....	32
2.6.4 Calibrarea ATRAM	35
2.6.5 Scenariu ATRAM.....	39
2.7 Evaluarea capacității și a ratei de transfer disponibilă pentru legăturile fără fir.....	44
2.8 Concluzii.....	45
3 Măsurători active ale latenței.....	47
3.1 Definiția latenței.....	47

3.2	Probleme legate de măsurarea latenței.....	47
3.3	Metode de sincronizare	48
3.3.1	Sincronizare folosind GPS.....	50
3.3.2	Sincronizare folosind NTP.....	50
3.3.3	Sincronizare folosind Standardul IEEE 1588.....	52
3.4	Stadiul actual pentru măsurarea latenței.....	54
3.4.1	OWAMP.....	57
3.4.2	RUDE/CRUDE.....	58
3.5	Estimarea latenței din măsurători de întârzieri pe căi ciclice.....	59
3.5.1	Modelul rețelei.....	59
3.5.2	Soluția numerică.....	60
3.5.3	Instrument de estimare a latenței din măsurători de întârzieri pe căi ciclice.....	63
3.5.4	Testarea instrumentului de estimare.....	64
3.6	Concluzii.....	67
4	Controlul automat al unui testbed OpenFlow folosind script-uri Lua și SPLAY.....	69
4.1	OpenFlow	69
4.1.1	Introducere.....	69
4.1.2	Comutatoare compatibile OpenFlow.....	71
4.1.3	Controllere compatibile OpenFlow.....	72
4.2	SPLAY.....	74
4.3	Implementare practică.....	76
4.4	Concluzii.....	80
5	Compozabilitatea rețelelor bazate pe cloud.....	83
5.1	Cloud Computing.....	83
5.1.1	Soluții de cloud private	85
5.2	Scăderea consumului de energie în rețele bazate pe cloud.....	88
5.2.1	Stadiul actual.....	89
5.2.2	Compoziția sistemelor de sisteme bazate pe cloud.....	90
5.2.3	Scenariu model holonic.....	92

5.3	Concluzii.....	93
6	Rutarea în rețele definite prin software bazate pe cloud.....	95
6.1	Stadiul actual.....	95
6.2	Rutarea în rețele bazate pe cloud.....	97
6.3	Aplicație Firewall bazată pe controller-ul Pyretic.....	101
6.3.1	Introducere	101
6.3.2	Caracteristici.....	103
6.3.3	Implementare Firewall.....	105
6.4	Rutare orientată pe aplicație în rețele de senzori wireless.....	107
6.4.1	Introducere	107
6.4.2	Funcția cost bazată pe latență.....	108
6.4.3	Estimarea consumului de putere pentru Raspberry Pi 2B.....	109
6.5	Concluzii.....	113
7	Contribuții la măsurători active pentru rutarea în rețele bazate pe cloud.....	115
7.1	Sumarul contribuțiilor.....	115
7.2	Concluzii.....	117
7.3	Premii.....	118
7.4	Publicații.....	118
7.4.1	Reviste ISI.....	118
7.4.2	Reviste BDI.....	119
7.4.3	Conferințe ISI Proceedings.....	119
7.4.4	Conferințe BDI	119
7.4.5	Rapoarte tehnice	120
7.4.6	Rapoarte de cercetare	120
7.5	Proiecte	120
	Bibliografie	123
	Anexa 1 - OpenStack-based Clouds as Holons: A Functional Perspective.....	135
	Anexa 2 - Active Measurement of the Available Transfer Rate Used in an Algorithm for Generalized Assignment Problem.....	139
	Curriculum Vitae.....	143

1 Introducere

În ziua de azi, conținutul din Internet este accesat fără a se lua în considerare infrastructura folosită, formată de obicei din centre de date gestionate de furnizorii de servicii. Această independență a devenit posibilă prin introducerea unui model de oferire a serviciilor computaționale, model care poartă numele de Cloud Computing. În acest model, companiile își dezvoltă propriile aplicații în cloud fără a ține cont de poziția și modul în care ele sunt distribuite. Astfel, prin folosirea chiar și a unei părți infime din imensa putere computațională a unei astfel de rețele scalabile, companiile pot reduce sau chiar elimina costurile asociate menținerii și gestionării unei infrastructuri interne, necesare oferirii serviciilor specifice. Mai mult, resursele pot fi livrate în funcție de nevoile companiei. În consecință, utilizatorii serviciilor de cloud pot închiria resurse ori de câte ori acest lucru este necesar, într-o manieră scalabilă și dinamică.

Rutarea este definită ca procesul de selecție al căii pe care va fi trimis traficul sau cu alte cuvinte dirijarea unui pachet de la nodul sursă la nodul destinație. Acest proces este format din două etape. Prima etapă implică determinarea căii optime cu ajutorul algoritmilor de rutare. În cea de a doua etapă pachetele sunt dirijate de la interfața de intrare către cea de ieșire. Rutarea este un aspect esențial al unei rețele funcționale, fie ea bazată pe cloud sau nu, întrucât influențează nu doar stabilitatea și performanța rețelei. De aceea, dacă procesul de rutare nu este realizat corespunzător va apărea o scădere a calității serviciilor. O eficiență ridicată a rutării poate fi obținută prin creșterea ratei de transfer și scăderea latenței. Totuși, un compromis între aceste două cerințe contradictorii poate fi obținut doar prin cunoașterea valorilor unor parametri precum rata de transfer disponibilă, latență și calitatea legăturii.

O estimare în timp real a parametrilor menționați anterior este crucială și pentru gestionarea eficientă a resurselor dar și pentru garantarea calității serviciilor oferite utilizatorilor. Cum aceste resurse sunt partajate, capacitatea se poate dovedi insuficientă, fenomen ce poate duce la congestia rețelei. O valoare ridicată a latenței poate scădea de asemenea calitatea serviciilor. Oricât de importantă ar fi, măsurarea acestor parametri se dovedește totuși dificilă. Monitorizarea pasivă necesită informații din toate nodurile de pe calea de rețea, fapt imposibil în practică. De aceea, se preferă metode de sondare active, bazate pe trimiterea unor pachete de test și analizarea efectului traficului concurent asupra acestor pachete. Spre deosebire de monitorizarea pasivă, tehnicile active necesită accesul doar la nodul sursă și cel destinație.

Algoritmii de rutare tradiționali se pot dovedi nepotriviiți în cazul rețelelor bazate pe cloud. În consecință, o soluție nouă, special concepută pentru cerințele unor astfel de rețele, este necesară. Ea constă în dezvoltarea unor algoritmi de rutare specializați care să ia în considerare și acești noi parametri. Mai mult decât atât, decizia de a folosi un algoritm sau altul trebuie luată în software.

Principalele caracteristici ale unei rețele bazate pe cloud sunt:

- Nevoia de adaptabilitate – nodurile sunt dinamice și heterogene
- Nevoia de interoperabilitate – verticală pentru schimbul de informații între straturi și orizontală pentru comunicarea inter și intra cloud
- Nevoia de optimizare – procesul de optimizare este dinamic și diferit pentru fiecare tip de rețea în parte

O mulțime de comunități din industrie și cercetare sunt fascinate în prezent de potențialul imens al Software-Defined Networking (SDN) și aplicațiile sale pentru Internetul viitorului. SDN a fost dezvoltat pentru a facilita inovarea, permițând un control simplu, programatic al rețelei. Separarea hardware-ului responsabil pentru dirijare de logica de control permite nu numai implementarea mai ușoară a unor noi protocoale și aplicații ci și gestionarea din software a rețelei. Aplicarea politicilor și rularea protocoalelor nu se mai realizează pe echipamente individuale. Întreaga rețea se rezumă la echipamente simple de dirijare și controlere de luare a deciziilor. Tehnologiile bazate pe OpenFlow permit dezvoltarea și distribuirea rapidă a unor astfel de soluții. Această teză prezintă o soluție de rutare adaptivă într-un cloud privat cu ajutorul unor comutatoare Open vSwitch controlate prin software. Problemele de implementare sunt discutate și o nouă soluție pentru automatizarea distribuirii aplicațiilor, bazate pe Splay, este introdusă.

1.1 Măsurători active

Rata de transfer disponibilă (ATR) și latența (OWD) sunt valori fundamentale pentru descrierea performanței unei căi de rețea. Capacitatea de a le măsura se dovedește importantă în mai multe situații, cum ar fi selectarea serverului, monitorizarea rețelei sau verificarea acordului privind nivelul de servicii oferit. Diferite instrumente au fost dezvoltate pentru a măsura acești parametri și aceste instrumente sunt pasive sau active. Monitorizarea pasivă nu modifică traficul din rețea. În schimb, analizează traficul existent în scopul de a furniza informațiile solicitate. Avantajul acestei metode constă în faptul că procesul de măsurare este non-intruziv. Dezavantajul este că măsurătorile nu pot fi efectuate în absența traficului. Măsurătorile active se bazează pe injectarea unor pachete de test în rețea și observarea comportamentului lor. Ca atare, tehnicile de măsurare active pot fi utilizate pe legăturile fără trafic existent. Cu toate acestea, traficul de test trebuie să fie controlat atent pentru a nu interfera cu procesul de măsurare.

ATR poate fi definită ca rata minimă de transfer disponibilă pentru toate legăturile j de-a lungul căii de rețea: $ATR = \min_j (C_j - X_j)$ și este determinată de legătura cu cea mai mică valoare a ratei de transfer disponibile. C_j este capacitatea de transfer a fiecărei legături j dintr-o cale de rețea și reprezintă numărul de octeți transmiși cu succes în unitatea de timp, în timp ce X_j este traficul concurent.

Unele dintre instrumentele de estimare a ATR se bazează pe o tehnică numită Probe Gap Model (PGM). Aceasta constă în trimiterea unei perechi de pachete cu un decalaj predefinit între ele. Acest decalaj este măsurat la capătul căii și comparat cu diferența inițială. În cazul în care rețeaua este lentă sau traficul concurent este ridicat al doilea pachet din pereche va fi întârziat, iar decalajul va crește. Diferența dintre valoarea inițială și valoarea măsurată la capătul căii se numește dispersie și crește cu fiecare coadă de așteptare. PGM poate fi utilizată pentru a măsura capacitatea și rata de transfer disponibile. La măsurarea capacității, efectul traficului concurent este redus la minimum prin utilizarea unui mic decalaj inițial și capacitatea este apoi determinată prin observarea dispersiei. Dacă se estimează rata de transfer disponibilă, dispersia este utilizată pentru a măsura rata de transfer pe cea mai proastă legătură. Această valoare va fi apoi scăzută din capacitatea căii.

Latența (OWD) pachetelor este de asemenea o valoare importantă pentru caracterizarea unei căi de rețea, deoarece oferă informații atât despre performanța rețelei cât și a aplicațiilor care rulează acolo. În primul caz, întârzierile de transmisie, de propagare și de așteptare în coadă pot fi deduse din această valoare. Mai mult, variațiile latenței sunt un indicator al congestiei sau a modificării unei rute. În ceea ce privește performanța aplicațiilor, latența trebuie să fie luată în considerare la

dimensionarea memoriilor tampon pentru comunicarea în timp real. O valoare mare a latenței ar putea însemna pierderea interactivității în astfel de aplicații.

În zilele noastre, tot mai mulți cercetători se ocupă cu abordări diferite în ceea ce privește măsurarea latenței. Tehnicile de măsurare active se bazează pe trimiterea de secvențe de pachete de test de la un capăt al rețelei monitorizate la celălalt capăt. Fiecare pachet de test este marcat cu o ștampilă de timp imediat înainte de plecarea sa de la sursă. După sosirea sa la destinație, latența poate fi calculată ca diferența între timpul de la expeditor și cel măsurat de către receptor. Cu toate acestea, metoda anterioară este valabilă dacă și numai dacă cele două stații sunt perfect sincronizate [Wan03]. Din păcate, o sincronizare perfectă între sursă și destinație nu poate fi obținută, cu toate că cercetarea în acest domeniu este în curs de desfășurare.

Alți factori care influențează precizia măsurătorii latenței sunt: sistemele de operare, compresia și pachetizarea [Sim01]. De exemplu, în cazul în care sistemul de operare al sursei are o perioadă de tact de 10 ms, acest lucru adaugă 10 ms de incertitudine la orice valoare de timp măsurată. Mai mult decât atât, deoarece măsurarea latenței se efectuează în software, apare o diferență între timpul măsurat și cel de la stratul fizic. În cele din urmă, în cazul unei legături supraîncărcate, o creștere a latenței se va produce din cauza congestiei rețelei. În timpul congestiei, pachetele vor suferi întârzieri suplimentare datorate așteptării în cozi.

Pentru a evita problemele descrise anterior, latența poate fi estimată ca jumătate din Round Trip Time (RTT). RTT este definit ca timpul de transfer dus-întors de la sursă, la destinație și înapoi la sursă. Măsurarea RTT poate fi efectuată prin intermediul protocolului ICMP. Sincronizarea între cele două stații nu mai este necesară, deoarece măsurătorile se efectuează numai la un capăt. Principalul dezavantaj al acestei metode constă în asimetria căilor de rețea. În cazul rețelelor cu comutație de pachete, calea de la sursă la destinație poate fi diferită de cea de la destinație înapoi la sursă. Mai mult decât atât, performanțele aplicațiilor depind, de obicei, de caracteristicile unei rețele într-o singură direcție. Prin urmare, abordarea descrisă anterior nu este corectă [Gur01].

1.2 Rețele bazate pe cloud

Cloud computing este un model folosit pentru a permite accesul permanent la o varietate de resurse de calcul partajate și configurabile (de exemplu: rețele, servere, spații de stocare, aplicații și servicii). Accesul rapid și liber se poate face cu un efort minim de administrare din partea furnizorului de servicii [Pat12] [Zho10] [Mel11].

Caracteristicile esențiale ale cloud computing se referă la:

- **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.
- **Accesul la rețea de pe orice dispozitiv** - resursele partajate sunt disponibile prin intermediul rețelei și accesate prin diferite platforme client, cum ar fi telefoanele mobile, tablete, laptop-uri și stații de lucru.
- **Partajarea resurselor** - resursele fizice sau virtuale sunt atribuite în mod dinamic și redistribuite în funcție de cererea consumatorilor care nu trebuie să cunoască localizarea exactă a acestor resurse.
- **Elasticitate rapidă** - resursele pot fi alocate sau eliberate în mod automat, ceea ce face ca modelul să fie foarte flexibil.

- **Serviciul de măsurare** - controlul automat optimizează utilizarea resurselor prin intermediul instrumentelor de măsură, asigurând astfel transparență atât pentru furnizor cât și pentru utilizatori.
- **Disponibilitatea resurselor de calcul** - accesul la aceste resurse se poate face în orice moment, la cerere.
- **Limitarea investițiilor inițiale** - creșterea resurselor hardware și software poate fi efectuată numai atunci când este necesar. Se elimină prin urmare, investițiile semnificative, în avans.
- **Plata pe termen scurt pentru utilizare** - serviciile de tip cloud pot fi plătite pe perioade de scurtă durată.

În funcție de nivelul de abstractizare al capacității furnizate și al modelului de furnizori, serviciile de cloud computing sunt împărțite în trei categorii: Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) și Software as a Service (SaaS).

Infrastructure as a Service (IaaS) oferă resurse virtualizate (calcul, stocare și comunicare) la cerere. Infrastructura cloud de bază nu este controlată de către utilizator. Cu toate acestea, utilizatorul poate avea control asupra sistemului de operare, aplicațiilor instalate și unele dintre componentele de rețea, cum ar fi firewall-urile. Furnizorii de IaaS oferă de obicei infrastructura virtualizată ca un serviciu. Resurse la nivel de hardware sunt abstractizate, încapsulate și expuse utilizatorilor printr-o interfață standardizată ca resursă unificată.

Platform as a Service (PaaS) oferă un strat de abstractizare între aplicațiile software (SaaS) și infrastructura virtualizată (IaaS). Consumatorii pot implementa pe infrastructura cloud aplicațiile care au fost create folosind limbaje de programare, biblioteci, servicii și instrumente oferite de către furnizor, fără a fi nevoie să se preocupe de cerințele hardware. Utilizatorii pot modifica doar aplicațiile implementate și unele setări de configurare pentru mediul de dezvoltare.

Software as a Service (SaaS) permite consumatorilor să utilizeze aplicațiile care rulează pe infrastructura cloud. Aceste aplicații sunt accesibile de la diverse dispozitive client prin intermediul unui browser web sau a unei interfațe dedicate. La fel ca în cazul precedent, consumatorul nu gestionează nici nu controlează infrastructura cloud. Cu toate acestea, o aplicație SaaS poate fi dezvoltată pe o platformă existentă, dar rulată pe infrastructura unei terțe părți.

Indiferent de clasa sa de serviciu, un cloud poate fi clasificat drept public, privat, comunitate sau hibrid. Cloud-ul public poate fi deținut, administrat și operat de către o organizație, instituție academică sau de guvern. El se află la sediul furnizorului de cloud și este accesibil publicului larg prin intermediul internetului. Principalele caracteristici ale unui cloud public se referă la scalabilitate și flexibilitate: utilizatorii pot adăuga sau reduce resurse. Cu toate acestea, securitatea rămâne o chestiune discutabilă, având în vedere faptul că localizarea exactă și utilizatorii cărora li se acordă acces la date nu sunt cunoscuți.

Un cloud privat permite utilizarea exclusivă de către o singură organizație care cuprinde mai mulți consumatori. Cloud-ul poate fi deținut, administrat și operat de către o organizație, o terță parte sau chiar o combinație a celor două. Același lucru este valabil și pentru cloud-ul comunitate, a cărui infrastructură este prevăzută pentru utilizarea exclusivă de către o comunitate de clienți care împărtășesc aceleași preocupări. Acest lucru permite unei companii selectarea modelului de cloud cel mai potrivit. Spre deosebire de cloud-ul public, un cloud privat poate oferi mai mult control și o mai mare fiabilitate prin intermediul unor acorduri strânse la nivel de serviciu. Mai mult decât atât, un cloud privat se poate dovedi mai personalizabil deoarece componentele de stocare și de rețea pot fi adaptate nevoilor specifice. Pe de altă parte, creșterea responsabilităților

de gestionare și expertiza necesară va crește costurile. Prin urmare, este important să se compare cu atenție avantajele și dezavantajele fiecărei soluții, înainte de a se lua o decizie.

Infrastructura unui cloud hibrid cuprinde două sau mai multe infrastructuri cloud distincte (privat, comunitate sau public), legate împreună pentru a permite schimbul de date și portabilitatea aplicațiilor. De exemplu, un cloud privat exploatat pe plan intern poate fi conectat cu mai multe cloud-uri publice prin intermediul tehnologiei standardizate sau proprietare, cu scopul de a răspunde mai bine cerințelor de afaceri. Aceasta conectare păstrează totuși autonomia infrastructurilor [Pat12]. Un cloud hibrid combină avantajele cloud-urilor private și publice. Pe lângă scalabilitate și flexibilitate, un cloud hibrid oferă, de asemenea, o soluție rentabilă sigură fiind astfel din ce în ce mai popular în rândul întreprinderilor.

Regardless of its service class, a cloud can be classified as public, private, community or hybrid. The public cloud may be owned, managed and operated by a business, academic or government organization. It resides on the premises of the cloud provider and is exposed to the general public via the Internet. The main characteristics of a public cloud refer to scalability and flexibility as users can easily add or drop capacity. However, security remains a debatable issue considering the fact that the exact whereabouts and the users who are granted access to data are not known thus making it more prone to hacks.

1.3 Motivația tezei

Punctul de plecare al acestei teze a fost reprezentat de un instrument de măsurare pentru rata de transfer disponibilă și latență, dezvoltat anterior în cadrul UC Labs. Instrumentul efectua măsurătorile la nivelul substratului MAC și era prin urmare limitat la rețelele locale. Mai mult decât atât, estimarea ATR era bazată pe o tehnică pasivă nepotrivită pentru măsurarea ratelor ridicate de transfer din rețelele bazate pe cloud. Un alt dezavantaj se referă la necesitatea sincronizării pentru măsurători precise ale latenței, Prin urmare, s-a decis dezvoltarea aonstruiască două instrumente de măsurare noi, bazate pe tehnici active. Noutatea constă în utilizarea unui filtru Kalman pentru ATR, estimarea latenței pe baza măsurătorilor căilor ciclice, eliminând astfel nevoia de sincronizare între noduri.

Aceste noi instrumente urmau să fie folosite pentru luarea deciziilor de rutare într-o rețea definită în software și bazată pe un cloud orchestrat de OpenStack. Testbed-ul inițial a fost dezvoltat anterior în cadrul UC Labs, cu scopul de a demonstra fezabilitatea unei soluții de selecție a algoritmilor de rutare în timp real [Rus11]. Testbed-ul a fost limitat de o serie de factori și nu a dovedit o bună scalabilitate sau flexibilitate. În consecință, el a fost virtualizat folosind OpenStack drept hypervisor. Controller-ul SDN a fost de asemenea modificat. Soluția originală bazată pe Beacon a fost înlocuită cu unele mai noi, cum ar fi OpenDaylight și Pyretic.

În ianuarie 2015, a început o colaborare de cercetare sub forma proiectului CHIST-ERA "DIONASYS", o inițiativă comună a patru instituții de cercetare (Universitățile din Neuchatel, Bordeaux, Lancaster și Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca), din patru țări, finanțat de CHIST-ERA ERA-NET. Scopul DIONASYS este "de a face programarea sistemelor-de-sisteme complexe și eterogene mai simplă, prin intermediul unui nivel ridicat de abstractizare care să permită funcții avansate, cum ar fi adaptarea automată, interoperabilitatea automată, precum și sprijinirea rețelelor programabile pentru aceste sarcini". Instrumentul de estimare a latenței și testbed-ul orchestrat de OpenStack menționate anterior au fost dezvoltate ca parte a acestui proiect.

Această teză reflectă atât viziunea personală cât și altele, în conformitate cu partenerii din cadrul proiectului CHIST-ERA "DIONASYS". Rezultatele au fost validate de către mai multe lucrări

prezentate la diferite conferințe: IEEE LANMAN 2016, IEEE ISETC 2012 și 2014, IEEE 2015 RoEduNet și 2016, IEEE COMM 2014 și 2016.

1.4 Structura tezei

Teza este structurată după cum urmează:

Capitolul 2 "Măsurători active ale ratei de transfer disponibilă" prezintă implementarea unui instrument de estimare a ratei de transfer disponibilă, pe baza măsurătorilor active și filtrării Kalman. Experimentele efectuate pe rețelele cu și fără fir cu fir au subliniat efectul matricii Q de covarianță a zgomotului de proces asupra preciziei de estimare și a capacității de urmărire a variațiilor traficului.

Capitolul 3 "Măsurători active ale latenței" este dedicat unui instrument de măsurare activ pentru estimarea latenței pe baza măsurătorilor căilor ciclice. Noutatea acestui mecanism este că nu necesită sincronizare între nodurile testbed-ului și nici nu se bazează pe protocolul ICMP pentru efectuarea măsurătorilor. Testele efectuate într-un cloud orchestrat de OpenStack au arătat că rezultatele estimării pot avea o precizie de nivelul unor nanosecunde.

Capitolul 4 "Controlul automat al unei rețele bazate pe OpenFlow folosind script-uri Lua și SPLAY" se concentrează pe un mecanism pentru controlul automat al unui testbed virtualizat orchestrat de OpenStack. Framework-ul SPLAY, open-source, bazat pe Lua, a fost ales pentru implementare. Noutatea soluției constă în eliminarea conceptului de sandbox, integrat în distribuția implicită.

Capitolul 5 "Compozabilitatea rețelelor bazate pe cloud" ilustrează modul în care site-uri sau cloud-uri hibride multiple pot fi compuse într-un model bazat pe holoni. Fezabilitatea acestui model abstract a fost investigată prin aplicarea lui în timp real pentru compunerea cloud-urilor bazate pe OpenStack. S-au oferit câteva indicații importante în procesul de mapare al celor două perspective, una bazată pe cloud iar cea de a doua pe holoni.

Capitolul 6 "Rutarea în rețele definite prin software bazate pe cloud" descrie virtualizarea unui testbed fizic utilizate pentru a pune în aplicare mecanismul de rutare GRAS, dezvoltat anterior în cadrul UC Labs. Controller-ul SDN Pyretic a fost investigat. De asemenea, a fost introdusă o metodă pentru minimizarea latenței într-o rețea de senzori wireless, alături de un mecanism de estimare a consumului de energie al unui dispozitiv Raspberry Pi model 2B. Fezabilitatea mecanismului global propus în această teză a fost demonstrată, cu accent pe scalabilitate și compozabilitate, cerințe cheie ale proiectului CHIST-ERA "DIONASYS".

Capitolul 7 "Contribuții la măsurători active pentru rutare în rețelele bazate pe cloud" oferă un rezumat al celor cinci contribuții prezentate în capitolele anterioare. Capitolul include, de asemenea, unele remarci finale, premii, precum și o listă a publicațiilor personale.

1.5 Concluzii

Rutarea în rețelele bazate pe cloud prezintă mai multe caracteristici care fac mecanismele de rutare tradiționale necorespunzătoare. Nodurile sunt dinamice și eterogene, iar întreaga topologie de rețea se poate schimba brusc. Prin urmare, apare o necesitate stringentă pentru interoperabilitatea și compozabilitatea sistemelor. Această solicitare poate fi îndeplinită prin furnizarea unui model abstract adecvat care permite virtualizarea resurselor de rețea. La rândul său, acest model trebuie

sa pună la dispoziție o gamă de servicii de rețea reutilizabile, care pot fi compuse cu sistemele existente.

Soluția propusă în această teză de doctorat vizează simplificarea sarcinilor furnizorilor de infrastructură și servicii, permițându-le să facă față noilor cerințe. Acest lucru este realizat prin oferirea unui nivel de abstractizare care face procesele mai puțin vulnerabile la evoluția infrastructurii oferite de cloud. Cel mai important, instrumentele de măsurare și mecanismul de rutare propus pot fi implementate în mod automat atât în rețelele tradiționale cât și în cele bazate pe cloud.

2 Contribuții la măsurători active pentru rutarea în rețele bazate pe cloud

Această secțiune prezintă o sinteză a contribuțiilor descrise în capitolele amintite anterior.

1. Măsurători active ale ratei de transfer disponibilă

Capitolul 2 se referă la implementarea a unui instrument de estimare a ratei de transfer disponibilă, numit ATRAM, bazat pe filtrarea Kalman și măsurători active. Eficiența filtrului Kalman se datorează capacității sale de a estima starea unui sistem dinamic dintr-un set de măsurători efectuate în condiții de zgomot. Performanța ATRAM a fost evaluată prin mai multe experimente, efectuate pe două testbed-uri diferite. În cazul primului testbed rata de transfer este condiționată de o legătură cablată, iar în cel de-al doilea scenariu de o legătură fără fir. Scopul principal al acestor experimente a fost de a observa impactul matricei Q de covarianță a zgomotului de proces asupra performanței de estimare și a capacității de urmărire a ATRAM. Mai multe configurații ale matricei au fost studiate, la diferite niveluri de trafic concurent. Rezultatele arată că alegerea optimă depinde de caracteristicile legăturii cu capacitate minimă și a traficului. La configurarea ATRAM pentru estimarea în rețele cablate, este mai bine să aleagă o valoare mică pentru Q_{11} , dat fiind că acest element este o măsură a variațiilor preconizate ale capacității, de obicei constantă în rețelele cablate. În schimb, rata de transfer disponibilă poate să fluctueze din cauza variațiilor de trafic. Prin urmare, Q_{22} este elementul important care trebuie să fie reglat. Rezultatele experimentale indică faptul că în cazul legăturilor fără fir Q_{11} devine elementul decisiv al matricei Q .

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 2
Publicații: [Iva14a], [Iva14b], [Iva14c], [Hos14], [Iva15a]

2. Măsurători active ale latenței

Capitolul 3 prezintă o soluție pentru estimarea latenței întârzieri pe baza întârzierilor măsurate pe căi ciclice. Măsurătorile se efectuează printr-un instrument software scris în limbajul C, care folosește un nod sursă ce transmite un pachet de test în rețea. Acest pachet este apoi transmis prin multicast și trece prin toate nodurile din rețea. În cele din urmă pachetul revine la nodul sursă, unde întârzierile sunt măsurate prin scăderea timpului de plecare din cel de sosire. Aceste măsurători sunt apoi exprimate în funcție de latențe. Sistemul de ecuații rezultat este nedeterminat, iar o estimare a latențelor se realizează prin intermediul MATLAB, în scopul de a obține o soluție finală. Problema de estimare este formulată ca o problemă de optimizare cu constrângerile derivate din măsurătorile de întârzieri ciclice. Astfel, estimarea latențelor poate fi efectuată cu o precizie de nanosecunde. Experimentele într-un cloud orchestrat de OpenStack au arătat că estimarea se realizează mai des atunci când există mai puține legături, fapt care rezultă într-o mai mare acuratețe și o capacitate mai bună de urmărire.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 3
Publicații: [Iva15b], [Tau16], [Dio16b]

3. Controlul automat al unei rețele bazate pe OpenFlow folosind script-uri Lua și SPLAY

Capitolul 4 introduce framework-ul open-source SPLAY care facilitează proiectarea, implementarea și testarea aplicațiilor distribuite pe scară largă. Principala contribuție se referă la implementarea unui mecanism care automatizează complet controlul unui testbed virtualizat orchestrat de OpenStack. Controller-ul SPLAY a fost instalat pe furnizorul de infrastructură și daemonii au fost integrați în nodurile platformei de test. Fezabilitatea soluției a fost demonstrată prin instalarea și executarea automată a unor script-uri pentru măsurători și pentru Open vSwitch (în Lua). S-au evitat astfel procesele greoaie de configurare manuală a testbed-ului. Instrumentele de măsurare furnizează informațiile necesare pentru administratorul de rețea cu privire la parametrii QoS ai legăturilor (ATR și OWD). Aceste date pot fi utilizate în continuare pentru a lua decizii de rutare în controller-ul SDN, care sunt trimise înapoi comutatoarelor Open vSwitch configurate anterior. În comparație cu soluțiile tradiționale (bash scripting), această abordare nu numai că oferă o mai mare scalabilitate (codul este distribuit în mod automat la un număr mare de noduri), dar și un grad mai mare de flexibilitate, deoarece codul poate fi adaptat pentru cerințele specifice ale fiecărui nod.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 4
Publicații: [Dio15], [Iva16a], [Pad16]

4. Compozabilitatea rețelelor bazate pe cloud

Această contribuție încearcă să rezolve problema compoziției sistemelor de sisteme complexe, cum ar fi site-uri sau cloud-uri hibride multiple, folosind un model bazat pe holoni (o cerință în proiectul CHIST-ERA “DIONASYS”). Holonii sunt entități compoziționale, introduse recent ca suport de bază pentru programarea și configurarea sistemelor de sisteme. Această abordare adresează gestionarea tot mai dificilă a sistemelor prin abstractizarea rețelelor și a serviciilor pe care ele le oferă. Modelul propus pune la dispoziție o gamă de servicii de rețea reutilizabile, care pot fi compuse cu sistemele existente. Fezabilitatea acestui model abstract a fost investigată prin aplicarea lui în timp real pentru compunerea cloud-urilor IaaS bazate pe OpenStack. În acest context s-au investigat și problemele legate de consumul de energie. Soluția bazată pe holoni vizează simplificarea sarcinilor furnizorilor de infrastructură și servicii, permițându-le să facă față noilor cerințe. Acest lucru este realizat prin oferirea unui nivel de abstractizare care face procesele mai puțin vulnerabile la evoluția infrastructurii oferite de cloud. S-au oferit câteva indicații practice importante în procesul de combinare al celor două perspective, una bazată pe cloud iar cea de a doua pe holoni.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 5
Publicații: [Dio16a], [Iva16b]

5. Rutarea în rețele definite prin software bazate pe cloud

Această contribuție prezintă un mecanism de rutare adaptiv într-un cloud privat cu comutatoare Open vSwitch controlate prin software. Algoritmii de rutare tradiționali, cum ar fi cel al lui Dijkstra, pot detecta congestia doar dacă aceasta se datorează modificărilor de la stratul Legături de Date. De aceea, acești algoritmi nu sunt potriviți pentru rutarea în rețelele bazate pe cloud, caracterizate de nevoia de adaptabilitate, interoperabilitate și optimizare. Un nou mecanism de rutare numit GRAS, dezvoltat anterior în cadrul UC Labs a fost folosit. Testbed-ul original, controlat de controller-ul Beacon a fost virtualizat într-un cloud privat orchestrat de OpenStack.

S-a investigat controller-ul SDN Pyretic, iar experimentele efectuate au arătat că mai multe reguli pot fi compuse în paralel, permițând astfel implementarea unor mecanisme de rutare atât cu cale unică cât și pe căi multiple. S-a introdus un mecanism de minimizare a latenței în rețelele de senzori wireless, bazat pe o funcție cost nouă. Se poate reduce astfel timpul de transmisie al alarmelor, critic în astfel de rețele. S-a implementat un model pentru estimarea consumului de putere pentru un dispozitiv Raspberry Pi model 2B care ia în considerare gradul de utilizare al procesorului și ratele de transfer în ambele direcții. Întreaga contribuție s-a dovedit un factor cheie în demonstrarea scalabilității soluției globale propuse de această teză, în conformitate cu cerințele proiectului CHIST-ERA “DIONASYS”.

Contribuțiile se regăsesc în: Capitolul 6
Publicații: [Com15], [Iva15b], [Iva16a], [Lup16], [Luc16a]

2.1 Concluzii

Scopul principal al acestei teze de doctorat a fost proiectarea și implementarea unui instrument de măsurare necesar pentru rutarea în rețelele bazate pe cloud. În timpul studiilor doctorale însă, contribuțiile au fost modificate în concordanță cu specificațiile proiectului CHIST-ERA “DIONASYS”, în cadrul căruia am fost cooptați în 2015. Aceasta a dus la dezvoltarea ultimei contribuții referitoare la compozabilitatea sistemelor de sisteme și interoperabilitate bazată pe modelul holonic. Mai mult decât atât, ideea unui mecanism de rutare bazat pe SDN a fost dezvoltată prin abstractizarea serviciilor oferite de rețea. Unele din contribuțiile la această teză sunt parțial implementate în proiectul CHIST-ERA “DIONASYS”, iar o parte urmează să fie integrate cu modulele software dezvoltate de ceilalți parteneri din proiect.

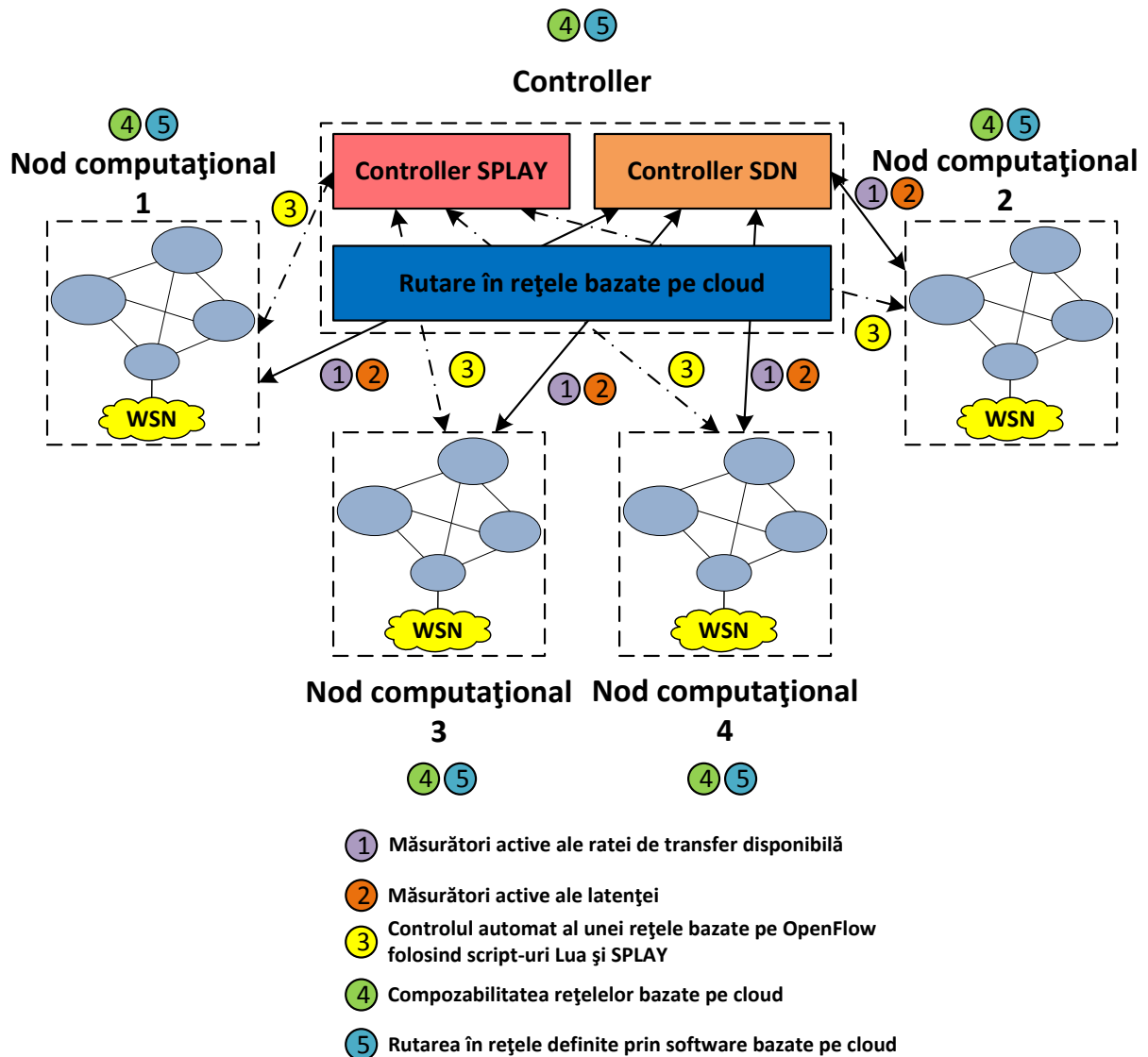


Figure 1. Contributions to the thesis

2.2 Premii

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 2015 și mai 2016.

2.3 Publicații

2.3.1 Reviste ISI

[Hos14]	A.C.Hosu, Z.I.Kiss, I.A.Ivanciu , Zs.A.Polgar, A.Consoli, M.Egido, "Ubiquitous Connectivity Platform for Intelligent Public Transportation Systems", <i>10th ITS European Congress</i> , June 16-19, 2014, Helsinki, Finland, WOS:000359811000003, ISSN: 1751-956X
---------	---

2.3.2 Reviste BDI

[Iva14c]	I.A. Ivanciu , A.B. Rus, and V. Dobrota, “A Tunnel-Based Solution for Seamless Vertical Handover and Load Balancing”, <i>ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Electronics and Telecommunications</i> , ISSN 1221-6542, Vol.55, No.3, 2014, pp.20-26
[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

2.3.3 Conferințe ISI Proceedings

[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
[Iva14a]	I.A. Ivanciu , A.C. Hosu, Z.A. Polgar, and V. Dobrota, “Capacity and Available Transfer Rate Evaluation for Wireless Links”, <i>10th International Conference on Communications COMM 2014</i> , Military Technical Academy, “Politehnica” University of Bucharest, “Electronica 2000” Foundation and IEEE Romania Section, Bucharest, Romania, May 29-31, 2014, pp.1-4, DOI:10.1109/ICComm.2014.6866693
[Iva14b]	I.A. Ivanciu , A.B. Rus, V. Dobrota, and J. Domingo-Pascual, “Active Measurement of the Available Transfer Rate Used in an Algorithm for Generalized Assignment Problem”, <i>Proceedings of the 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications ISETC 2014</i> , Timisoara, Romania, November 13-14, 2014, Print ISBN: 978-1-4799-7265-4, pp.147-150
[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

2.3.4 Conferințe BDI

[Iva16b]	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
[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

[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
---------	---

2.3.5 Rapoarte tehnice

[Dio15]	A.B. Rus, I.A. Ivanciu , and V. Dobrota, "Automatic Control of an OpenFlow-Based Network Using Lua and SPLAY", „ <i>CHIST-ERA DIONASYS "Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems"</i> , Version 1.0, 12 July 2015, 17 pages.
[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 "Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems"</i> , Version 1.0, 29 September 2016, 18 pages.

2.3.6 Rapoarte de cercetare

[Iva15a]	I.A. Ivanciu , "Active Measurements of the Available Transfer Rate", Ph.D. Scientific Research Report 1 (unpublished), Technical University of Cluj-Napoca, Romania, January 2015
[Iva15b]	I.A. Ivanciu , "Active Measurements of the One-Way Delay. Energy Consumption Estimation", Ph.D. Scientific Research Report 2 (unpublished), Technical University of Cluj-Napoca, Romania, September 2015
[Iva16a]	I.A. Ivanciu , "Routing in Cloud-Based Networks", Ph.D. Scientific Research Report 3 (unpublished), Technical University of Cluj-Napoca, Romania, February 2016

2.4 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", 2016-2017
2	V. Dobrota (coordinator for TUCN), A.B. Rus, I.A. Ivanciu , G. Lazar, E. Luchian (members) et al., „ <i>CHIST-ERA DIONASYS "Declarative and Interoperable Overlay Networks, Applications to Systems of Systems"</i> , 2015-2017
3	C. Munteanu (coordinator for TUCN), I.A. Ivanciu (PhD scholarship) Interuniversity Partnership for Engineering Excellence "PARTING", 2014-2016

4	Z. Polgar (coordinator for TUCN), V. Dobrota, M. Varga, A.B. Rus, G. Lazar, I.A. Ivanciu , Z. Kiss, A. Hosu (members), FP7-SME-2012-1/315161 "UCONNECT – Implementation of Ubiquitous Connectivity for Public Transport", 2012-2014
---	--