



UNIVERSITATEA “POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI

ȘCOALA DOCTORALĂ ETTI-B

Nr. Decizie ..... din .....

## TEZĂ DE DOCTORAT

Contribuții la dezvoltarea și implementarea rețelelor  
definite prin programe soft

Contributions to the development and  
implementation of Software-Defined Networks

Doctorand: **Ing. Liviu-Alexandru STANCU**

Conducător de doctorat: **Prof. Dr. Ing. Simona HALUNGA**

### COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	<b>Prof. Dr. Ing. Gheorghe BREZEANU</b>	de la	<b>Univ. “Politehnica” din București</b>
Conducător de doctorat	<b>Prof. Dr. Ing. Simona HALUNGA</b>	de la	<b>Univ. “Politehnica” din București</b>
Referent		de la	<b>Univ. “Politehnica” din București</b>
Referent		de la	<b>Univ. “Politehnica” din București</b>
Referent		de la	<b>Univ. “Politehnica” din București</b>

București 2017



# Muṭumiri



# Cuprins

Mulțumiri . . . . .	iii
Lista tabelelor . . . . .	vii
Lista figurilor . . . . .	viii
Lista abrevierilor . . . . .	x
<b>1 Introducere</b>	<b>1</b>
1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat . . . . .	1
1.2 Scopul tezei de doctorat . . . . .	1
1.3 Conținutul tezei de doctorat . . . . .	2
<b>2 Introducere în rețelele definite prin software</b>	<b>5</b>
2.1 Istoria SDN . . . . .	5
2.2 Standardizarea SDN . . . . .	5
2.3 SDN în contextul rețelelor actuale . . . . .	5
<b>3 SDN în contextul rețelelor de transport fără fir</b>	<b>7</b>
3.1 Modelul informațional pentru microunde - ONF TR-532 . . . . .	7
3.2 Modelul informațional de bază - ONF TR-512 . . . . .	7
3.3 Protocolul NETCONF . . . . .	7
3.4 Alegerea unui cadru pentru serverul NETCONF . . . . .	7
3.5 Arhitectura demonstrațiilor de concept WT SDN . . . . .	7
<b>4 Mediatorul cu valori implicite - prima versiune</b>	<b>9</b>
4.1 Arhitectura . . . . .	9
4.2 Implementarea . . . . .	9
4.3 Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept . . . . .	9
<b>5 Mediatorul cu valori implicite - a doua versiune</b>	<b>11</b>
5.1 Arhitectura . . . . .	11
5.2 Implementarea . . . . .	11
5.3 Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept . . . . .	11
5.4 Integrarea cu LINC . . . . .	11
<b>6 Simulatorul rețelelor de transport de date fără fir</b>	<b>13</b>
6.1 Arhitectura . . . . .	13
6.2 Implementarea . . . . .	13

6.3	Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Rezultate și discuții</b>	<b>15</b>
7.1	Evaluarea soluțiilor propuse . . . . .	15
7.2	Comparație între WTE și alte abordări . . . . .	15
7.3	Demonstrarea cazurilor de utilizare cu ajutorul WTE . . . . .	15
<b>8</b>	<b>Concluzii</b>	<b>17</b>
8.1	Rezultate obținute . . . . .	17
8.2	Contribuții originale . . . . .	17
8.3	Lista contribuțiilor originale . . . . .	17
8.4	Perspective de dezvoltare ulterioară . . . . .	17
	<b>Bibliografie</b>	<b>19</b>

## Lista tabelelor





# Lista figurilor



# Lista abrevierilor

DVM	Default Values Mediator
IoT	Internet of Things
NETCONF	Network Configuration Protocol
ONF	Open Networking Foundation
OT	Optical Transport
PoC	Proof of Concept
SDN	Software-Defined Networking
TR	Technical Recommendation
WT	Wireless Transport
WTE	Wireless Transport Emulator

# Capitolul 1

## Introducere

### 1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

În urma avansurilor tehnologice recente în toate domeniile, în general și în domeniul calculatoarelor și al telecomunicațiilor, în particular, a apărut nevoia de a redefini arhitectura rețelelor de comunicații, din cauza faptului că rețelele tradiționale au început să își arate limitele. În zilele noastre, există o tendință de a interconecta totul, cu ajutorul unor tehnologii care permit acest lucru, cum ar fi conceptul de *Cloud Computing*, mobilitatea, sau idei mai noi, cum ar fi *Internetul Tuturor Lucrurilor* - IoT (Internet of Things) sau sistemele de comunicații de generația a cincea - 5G. Aceste noi abordări au nevoie, pe lângă o lățime de bandă crescută, de o rețea mai simplă și agilă, unde se facilitează inovarea. Rețelele definite prin software - SDN (Software-Defined Networking), reprezintă o nouă paradigmă care a apărut în industria rețelisticii, pentru a mitiga dezavantajele pe care rețelele tradiționale le-au dovedit.

Tehnologia SDN nu este încă matură și nu a pătruns în toate tipurile de rețele de comunicații. Este prezentă în campusuri universitare, sau în centre de date, însă se încearcă introducerea acesteia în toate aspectele unei rețele de comunicații, cum ar fi transportul de date optic - OT (Optical Transport), transportul de date fără fir - WT (Wireless Transport) sau noduri de interconectare ale Internetului. Aceste încercări presupun muncă de standardizare și demonstrații de concept - PoC (Proof of Concept), pentru prezentarea avantajelor pe care această nouă paradigmă de oferă, până când tehnologia se va maturiza și va fi adoptată de toată industria rețelisticii.

### 1.2 Scopul tezei de doctorat

Această lucrare își propune să prezinte noua paradigmă apărută în industria rețelisticii, SDN, împreună cu avantajele pe care această abordare le poate aduce dacă ar fi aplicată în toate aspectele unei rețele de comunicații, punând accent pe rețelele de transport de date fără fir. Autorul își va prezenta activitatea de cercetare, constând în unelte software care pot fi folosite ca simulatoare de echipamente de

transport de date fără fir, ce expun interfețe folosite în tehnologia rețelelor definite prin software.

Aceste unelte software au fost folosite cu succes în procesul de standardizare SDN, care încă se desfășoară în cadrul ONF (Open Networking Foundation), facilitând testarea modelelor informaționale ce se dezvoltă în contextul rețelelor definite prin software și ușurând dezvoltarea și testarea aplicațiilor SDN care fac parte din acest ecosistem. Simulatorul rezultat în urma acestei cercetări, în forma sa finală, poate emula o întreagă rețea de echipamente de transport de date fără fir, care expun interfețe specifice SDN. El poate fi folosit de către dezvoltatorii de produse software SDN pentru rețele de transport de date fără fir, eliminând nevoia acestora de a deține astfel de echipamente scumpe pentru a-și putea testa aplicațiile. Poate fi folosit și de către operatorii care vor să lanseze această tehnologie în rețelele de producție, pentru a simula consecințele instalării unor noi aplicații anterior lansării, fără a afecta rețeaua.

## 1.3 Conținutul tezei de doctorat

Lucrarea este împărțită în opt capitole, primul prezentând domeniul abordat în teză, iar ultimul fiind dedicat concluziilor. În continuare va fi prezentat, pe scurt, conținutul fiecărui dintre celelalte capitole.

Capitolul 2 introduce domeniul rețelelor definite prin software, plecând de la istoria sa și nevoia pentru care această nouă paradigmă a apărut. Apoi va fi ilustrată activitatea de standardizare în acest domeniu, inclusiv demonstrațiile de concept conduse de către ONF, în particular de către grupul WT, care va duce la maturizarea soluției și adoptarea acesteia pe scară largă, în toate aspectele unei rețele. Tot în acest capitol se va evidenția și prezența SDN în contextul rețelelor actuale.

Cel de-al 3-lea capitol pune accent pe prezența SDN în rețelele de transport de date fără fir. Sunt prezentate modelele informaționale dezvoltate în cadrul ONF în acest context, având rolul de recomandări tehnice - TR (Technical Recommendation): *TR-532, Microwave Information Model* și *TR-512, Core Information Model*. Ulterior se vor da detalii despre NETCONF (Network Configuration Protocol), care este protocolul de bază pentru rețelele de transport de date fără fir, în contextul SDN. În următoarea secțiune se vor compara câteva cadre software cu sursă deschisă, ce oferă facilitatea unui server NETCONF. Pe baza acestei comparații s-a ales una software care va face parte din simulatorul propus în lucrare. Capitolul va fi încheiat de o prezentare a arhitecturii demonstrațiilor de concept organizate de grupul WT din ONF, ce va ajuta la înțelegerea necesității unui astfel de simulator.

Capitolul 4 prezintă prima versiune a simulatorului, numită *Mediatorul cu valori implicite* - DVM (Default Values Mediator), folosită în cel de-al doilea PoC. Se vor prezenta, pe rând, arhitectura și implementarea, iar apoi se va evidenția folosirea acestui simulator în contextul demonstrațiilor de concept.

Următorul capitol, 5, descrie cea de-a doua versiune a DVM, abordând aspecte despre arhitectura, implementare și folosire în cadrul celui de-al treilea PoC. În plus, se va evidenția încercarea de a integra acest simulator cu o soluție de comutator

software, LINC, folosit în SDN, în special în cadrul rețelelor de transport optic de date, prezentând avantajele și dezavantajele date de această abordare.

Capitolul 6 descrie ultima și cea mai avansată versiune a simulatorului rețelelor de transport de date fără fir - WTE (Wireless Transport Emulator), prezentând arhitectura, detaliile implementării și folosirea acestuia în cea de-a patra demonstrație de concept a grupului WT din cadrul ONF.

Capitolul 7 ilustrează rezultatele obținute în urma acestei cercetări și propune discuții pe baza simulatorului implementat. În primul rând, această soluție este evaluată din punctul de vedere al resurselor consumate și al extensibilității pe care o oferă. Apoi, se compară simulatorul cu alte soluții care există în momentul de față în contextul SDN. Ulterior, se prezintă câteva cazuri de utilizare, propuse în cadrul grupului WT din ONF, care pot fi demonstrate cu ajutorul simulatorului, eliminând nevoia unor echipamente de transport de date fără fir.



## Capitolul 2

# Introducere în rețelele definite prin software

### 2.1 Istoria SDN

### 2.2 Standardizarea SDN

### 2.3 SDN în contextul rețelelor actuale





## **Capitolul 3**

# **SDN în contextul rețelelor de transport fără fir**

### **3.1 Modelul informațional pentru microunde - ONF TR-532**

Istoria rețelelor definite prin software.

### **3.2 Modelul informațional de bază - ONF TR-512**

SDN și rețelele actuale..

### **3.3 Protocolul NETCONF**

Standardizare: ONF, etc..

### **3.4 Alegerea unui cadru pentru serverul NETCONF**

Standardizare: ONF, etc..

### **3.5 Arhitectura demonstrațiilor de concept WT SDN**

Standardizare: ONF, etc..



# Capitolul 4

## Mediatorul cu valori implicite - prima versiune

### 4.1 Arhitectura

SDN și rețelele actuale..

### 4.2 Implementarea

Istoria rețelelor definite prin software.

### 4.3 Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept

Standardizare: ONF, etc..



# Capitolul 5

## Mediatorul cu valori implicite - a doua versiune

### 5.1 Arhitectura

SDN și rețelele actuale..

### 5.2 Implementarea

Istoria rețelelor definite prin software.

### 5.3 Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept

Standardizare: ONF, etc..

### 5.4 Integrarea cu LINC

Standardizare: ONF, etc..



# Capitolul 6

## Simulatorul rețelelor de transport de date fără fir

### 6.1 Arhitectura

SDN și rețelele actuale..

### 6.2 Implementarea

Istoria rețelelor definite prin software.

### 6.3 Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept

Standardizare: ONF, etc..





# Capitolul 7

## Rezultate și discuții

### 7.1 Evaluarea soluțiilor propuse

SDN și rețelele actuale..

### 7.2 Comparatie între WTE și alte abordări

Istoria rețelelor definite prin software.

### 7.3 Demonstrarea cazurilor de utilizare cu ajutorul WTE

Standardizare: ONF, etc..



# Capitolul 8

## Concluzii

### 8.1 Rezultate obținute

Istoria rețelelor definite prin software.

### 8.2 Contribuții originale

SDN și rețelele actuale..

### 8.3 Lista contribuțiilor originale

Standardizare: ONF, etc..

### 8.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Standardizare: ONF, etc..



# Bibliografie

- [1] S. Fear. Publication quality tables in LaTeX. Available from CTAN, macros/latex/contrib/booktabs, <http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/booktabs/booktabs.pdf>, 2005.
- [2] Princeton University Library. Doctor of Philosophy Dissertation and Master's Thesis Requirements. <http://www.princeton.edu/~mudd/thesis/MuddDissertationRequirements.pdf>, September 2009.
- [3] ProQuest. PQ/UMI GradWorks Guide F2006. <http://www.princeton.edu/~mudd/thesis/Submissionguide.pdf>, 2006.
- [4] Seeley G. Mudd Manuscript Library. Submitting your Doctoral Dissertation or Masters Thesis to the Mudd Manuscript Library. <http://www.princeton.edu/~mudd/thesis/>, May 2009.