



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



# Multumiri

I would like to thank the Math department for providing the original documentclass file that this class is based upon. I would like to thank my parents, without whom my life would not be possible. I would also like to thank my advisor, my dissertation committee, and my research collaborators because every graduate student needs to do so. And finally, I thank the members of my research group, to whom I leave this template to save you some of the trouble I had to go through getting my dissertation to compile in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

Don't forget to ask your advisor if your work was sponsored by a grant that needs to be acknowledged in this section.



# Cuprins

Mulțumiri . . . . .	iii
Lista tabelor . . . . .	vii
Lista figurilor . . . . .	viii
Lista abrevierilor . . . . .	x
<b>1 Introducere</b>	<b>1</b>
1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat . . . . .	2
1.2 Scopul tezei de doctorat . . . . .	4
1.3 Conținutul tezei de doctorat . . . . .	5
<b>2 Introducere în rețelele definite prin software</b>	<b>7</b>
2.1 Istoria SDN . . . . .	7
2.2 Standardizarea SDN . . . . .	7
2.3 SDN în contextul rețelelor actuale . . . . .	7
<b>3 SDN în contextul rețelelor de transport fără fir</b>	<b>9</b>
3.1 Modelul informațional pentru microunde - ONF TR-532 . . . . .	9
3.2 Modelul informațional de bază - ONF TR-512 . . . . .	9
3.3 Protocolul NETCONF . . . . .	9
3.4 Alegerea unui cadru pentru serverul NETCONF . . . . .	9
3.5 Arhitectura demonstrațiilor de concept WT SDN . . . . .	9
<b>4 Mediatorul cu valori implicite - prima versiune</b>	<b>11</b>
4.1 Arhitectura . . . . .	11
4.2 Implementarea . . . . .	11
4.3 Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept . . . . .	11
<b>5 Mediatorul cu valori implicite - a doua versiune</b>	<b>13</b>
5.1 Arhitectura . . . . .	13
5.2 Implementarea . . . . .	13
5.3 Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept . . . . .	13
5.4 Integrarea cu LINC . . . . .	13
<b>6 Simulatorul rețelelor de transport de date fără fir</b>	<b>15</b>
6.1 Arhitectura . . . . .	15
6.2 Implementarea . . . . .	15

6.3	Folosirea în contextul demonstrațiilor de concept . . . . .	15
<b>7</b>	<b>Rezultate și discuții</b>	<b>17</b>
7.1	Evaluarea soluțiilor propuse . . . . .	17
7.2	Comparație între WTE și alte abordări . . . . .	17
7.3	Demonstrarea cazurilor de utilizare cu ajutorul WTE . . . . .	17
<b>8</b>	<b>Concluzii</b>	<b>19</b>
8.1	Rezultate obținute . . . . .	19
8.2	Contribuții originale . . . . .	19
8.3	Lista contribuțiilor originale . . . . .	19
8.4	Perspective de dezvoltare ulterioară . . . . .	19
	<b>Bibliografie</b>	<b>21</b>

## Lista tabelelor





# Lista figurilor



# Lista abrevierilor

UTC - Coordinated Universal Time.

# Capitolul 1

## Introducere

Coordinated Universal Time (UTC) is used here.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin.

itudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

## 1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Prezentarea domeniului aici.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare

odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

## 1.2 Scopul tezei de doctorat

Prezentarea scopului aici.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

## 1.3 Conținutul tezei de doctorat

Prezentarea conținutului tezei aici.





# Capitolul 2

## Introducere în rețelele definite prin software

### 2.1 Istoria SDN

Istoria rețelelor definite prin software.

### 2.2 Standardizarea SDN

Standardizare: ONF, etc..

### 2.3 SDN în contextul rețelelor actuale

SDN și rețelele 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.