

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Наташе Максић за израду докторске дисертације

Одлуком 5028/7/1 од 11.7.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Наташе Максић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Оптимизација и имплементација напредних протокола за рутирање”.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Наташа Максић је рођена 6.02.1983. у Београду, где је завршила основну школу и Математичку гимназију као Вуковац. Електротехнички факултет у Београду уписала је 2002. године и дипломирала је 2007. године са просечном оценом 10. Добила је награду Универзитета у Београду као студент генерације Електротехничког факултета за 2007/2008. годину. У току студирања 2004. и 2005. године добила је награде компаније YUBC SYSTEM A.D. као најбољи студент треће и четврте године Одсека за електронику, телекомуникације и аутоматику. 2006. године као студент 5.године била је награђена од стране Електротехничког факултета за најбољи успех на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику у школској 2005/2006. години. 2008. године била је награђена од стране Електротехничког факултета за најбољи успех у студијама међу студентима који су дипломирали 2007/2008. године на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику. Такође, од Теленор фондације добила је награду проф. др Илија Стојановић за допринос у области телекомуникација у категорији најбољег дипломираног студента на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику. У периоду од 2003. до 2005. године била је стипендиста Министарства просвете. 2006/2007. била је стипендиста задужбине Студеница. 2006. године добила је Eurobank EFG школарину за студенте завршне године државних факултета за остварене изванредне резултате током студија.

У току августа 2006. године била је на пракси у компанији ENSICO d.o.o из Љубљане. Од 2008. године запослена је у Иновационом центру Електротехничког факултета као истраживач приправник. Радила је на пројекту Министарства науке „Системска

интеграција Интернет рутера” од 2008. до 2010., а од 2011. ради на пројекту „Развој сервиса и безбедности Интернет рутера високог капацитета”.

Наташа Максић је аутор више радова на конференцијама и у часописима. Добитник је награда за најбољи рад у области Телекомуникација у категорији младих истраживача на конференцијама ЕТРАН 2009 и ЕТРАН 2012.

Наташа Максић је рецензент за међународне часописе IEEE Communication Letters и IEEE Journal on Selected Areas in Communication (J-SAC), као и за међународну конференцију IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing. За рецензије обављене у току 2011. године за часопис IEEE Communication Letters добила је признање *Exemplary Reviewer*. Наташа Максић је учествовала и у организацији међународне конференције IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing 2012.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Током петогодишњег рада у Иновационом центру Електротехничког факултета, Наташа Максић је стекла значајно развојно-истраживачко знање и искуство.

У оквиру докторских студија Наташа Максић је положила следећих десет испита, све са оценом 10: Комуникационе и рачунарске мреже, Теорија и пракса комутација, Теорија телекомуникационог саобраћаја, Синхронизација у телекомуникационим мрежама, Системи за надзор и управљање телекомуникационим мрежама, Случајни процеси у телекомуникацијама, Савремене технике контроле грешака у телекомуникацијама, Одабрана поглавља из симболичке алгебре, Линеарна алгебра и Увод у научни рад.

Наташа Максић је имплементирала балансирање саобраћаја базираног на двофазном рутирању и проширења OSPF-а функционалношћу оптималног прорачуна коефицијената балансирања. Формирала је више симулационих мрежа базираних на виртуелизационим софтверима XEN и OpenVZ, и у тим мрежама је извршила генерисање пакетског саобраћаја и мерење перформанси.

У оквиру рада на алгоритмима за ажурирање лукап табела рутера, остварила је унапређења и имплементацију ажурирања за BPFL (Balanced Parallelized Frugal Lookup) и POLP (Parallel Optimized Linear Pipeline) лукап алгоритме. Евалуација ових алгоритама обухватила је анализу најгорег случаја, као и симулацију и мерење перформанси за типичне расподеле вредности префикса адреса Интернета. Развијени софтвер је интегрисан са прототипом Интернет рутера високог капацитета.

Наташа Максић је у области рутирања у дата центрима, осмислила протокол који омогућава максимизирање протока у дата центрима и извршила је компарацију

различитих алгоритама рутирања на релевантним топологијама дата центара, базирану на анализи најгорег случаја и симулацији коришћењем мрежног симулатора ns-3.

Списак објављених радова:

а) радови објављени у часописима врхунског међународног значаја

- [1] Marija Antić, Nataša Maksić, Petar Knežević, Aleksandra Smiljanić, "Two Phase Load Balanced Routing using OSPF," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication (J-SAC)*, Vol. 28(1), January 2010, pp. 51-59, ISSN 0733-8716 (IF=3.758)

б) радови објављени у часописима националног значаја

- [2] Nataša Maksić, Aleksandra Smiljanić, "Platform for Capacity Reservation in IP Networks," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 10, No. 1, February 2013, pp. 103-111.
- [3] Nataša Maksić, Petar Knežević, Marija Antić, Aleksandra Smiljanić, "Influence of Load Balancing on Quality of Real Time Data Transmission," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 6, No. 3, December 2009, pp. 515-524., ISSN 1451-4869

в) радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини

- [4] Nataša Maksić, Zoran Čiča, Aleksandra Smiljanić, "Updating Designed for Fast IP Lookup," *Proceedings of IEEE Conference on High Performance Switching and Routing 2012*, Belgrade, pp. 64-69, Serbia, June 2012., ISSN 978-1-4577-0831-2
- [5] Petar Knežević, Nataša Maksić, Miroslav Ilić, Vladimir Kostić, Predrag Mićović, Ninko Radivojević, "One solution for management of OTN cross-connect functionality using SNMP," *Proceedings of IEEE TELSIS 2011*, Vol. 2, pp. 619-622, Niš, October 2011.
- [6] Nataša Maksić, Petar Knežević, Marija Antić, Aleksandra Smiljanić, "On the Performance of the Load Balanced Shortest Path Routing," *Proceedings of IEEE PACRIM*, Canada, , pp. 654-659, August 2009., ISSN 978-1-4244-4561-5

г) радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини

- [7] Наташа Максић, Александра Смиљанић, "Платформа за резервацију капацитета у ИП мрежама," Зборник радова са конференције *ЕТРАН 2012*, Златибор, Јун 2012., ТЕ2.1-1-4, ИСБН 978-86-80509-67-9
- [8] Марија Антић, Зоран Чича, Наташа Максић, Александра Смиљанић, "Тестирање прототипа скалабилног Интернет рутера," Зборник радова са конференције *ЕТРАН 2011*, Бања Врућица, Јун 2011., ТЕ1.3-1-4, ИСБН 978-86-80509-66-2
- [9] Наташа Максић, "Једно решење за праћење процесорских ресурса у ИП мрежама," Зборник радова са конференције *ЕТРАН 2010*, Доњи Милановац, Јун 2010., ТЕ1.2-1-4, ИСБН 978-86-80509-65-5

- [10] Наташа Максић, Петар Кнежавић, Марија Антић, Александра Смиљанић, "Утицај рутирања са балансирањем на квалитет преноса података у реалном времену," Зборник радова са конференције *ЕТРАН 2009*, Врњачка Бања, Јун 2009., ТЕ5.2-1-4, ИСБН 978-86-80509-64-8

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Способност за рад на предложеној теми потврђена је радовима и резултатима које је кандидат објавила на конференцијама и у часописима у области на коју се односи тема. У оквиру рада кандидата у овој области обухваћени су сви елементи потребни за успешан рад на предложеној теми, од теоријске анализе и решења, преко имплементације, до тестирања, евалуације и поређења са другим решењима. Узимајући у обзир и изузетан успех показан у досадашњем школовању, сматрамо да је кандидат у потпуности подобан за рад на предложеној теми.

2. Предмет, циљ и значај истраживања

Протоколи рутирања значајно утичу на перформансе и економичност пакетских мрежа, па је унапређење протокола рутирања и алгоритама везаних за рутирање од великог значаја.

Први проблем који се решава у оквиру докторске дисертације је проналажење метода за максимизацију протока у мрежама дата центара, помоћу нових протокола за рутирање пакета. Савремени дата центар (енг. datacenter) садржи од неколико хиљада до неколико стотина хиљада сервера међусобно повезаних комуникационом мрежом. Текући трендови, који обухватају потребу за складиштењем и обрадом великих количина података (пример су компаније Google, Amazon и Microsoft), као и све брже премештање апликација и података са појединачних рачунара у дата центре ради обраде података у „облаку“ (енг. Cloud Computing) доводе до изградње све већег броја дата центара. Висока цена опреме и велика потрошња енергије у дата центрима намеће потребу за што бољим искоришћењем њихових ресурса, свичева и каблова. Истраживање у овој докторској дисертацији има за циљ да дефинише метод за избор оптималних путања у дата центрима који би максимизирао проток за произвољну матрицу саобраћаја. Повећање протока у овим мрежама омогућило би истовремено извршавање већег броја апликација. Повећање комуникационих капацитета постојећих мрежа дата центара омогућило би уштеде корисницима и оператерима ових центара, док би уштеда електричне енергије била корисна и са становишта очувања околине.

Други предмет овог истраживања је дизајн и имплементација алгоритама за ажурирање лукап табела у савременим рутерима на основу којих се рутирају кориснички пакети. Савремени лукап алгоритми са једне стране теже да омогуће проналажење следећег рутера за долазећи пакет за што краће време, док са друге стране кодују информације

тако да потрошња меморије буде што мања. Мала потрошња меморије је битна јер се лукап алгоритми извршавају у специјализованим чиповима и користе брзе меморије које су скупе. Задовољавање оба наведена циља резултује у компликованим структурама података. Формирање ових структура података и њихово одржавање у складу са променама у табели рутирања је задатак алгоритма ажурирања. Циљ истраживања у овој докторској тези је и анализа и имплементација оптимизованих алгоритма ажурирања BPFL (Balanced Parallelized Frugal Lookup) и POLP (Parallel Optimized Linear Pipeline) лукап табела. У овом раду је дефинисан алгоритам ажурирања BPFL лукап табела. BPFL алгоритам је развијен на Електротехничком факултету у Београду и у овој докторској дисертацији ће бити дефинисан алгоритам ажурирања за овај лукап алгоритам. Такође ће бити анализирани алгоритми ажурирања за POLP који су предложени у литератури и биће предложене модификације ових алгоритма у циљу побољшавања перформанси. Један од циљева овог рада је испитивање могућности оптимизација у циљу смањења броја операција и времена ажурирања лукап табела. Ефикасни алгоритми ажурирања омогућавају коришћење мање захтевних процесора и мању потрошњу енергије, па тиме утичу и на цену самих рутера и њихове експлоатације.

3. Полазне хипотезе

Ова теза се бави анализом и имплементацијом напредних протокола за рутирање у пакетским мрежама. У тези ће посебна пажња бити посвећена протоколима рутирања у дата центрима, и ажурирању лукап табела на основу којих се пакети рутирају.

У дата центрима се користе различите топологије комуникационих мрежа, и већина њих дели заједничку особину да се ради о правилним топологијама са великим бројем алтернативних путања. Ова особина разликује топологије дата центара од топологија већине других телекомуникационих мрежа. Због регуларности топологија дата центара, рутирање у дата центрима је најчешће засновано на балансирању. У овом раду ће бити анализирани различите опције балансирања у дата центрима, и биће такође предложена нова решења која укључују оптимизационе методе засноване на линеарном програмирању.

Рутирање у различитим врстама мрежа у равни података укључује лукап алгоритме на основу којих се за сваки пакет на основу његове Интернет адресе одређује излазни порт рутера на који тај пакет треба да се шаље. Протоколи за рутирање дефишу лукап табеле на основу информација о топологији мреже које примају од других рутера. Структуре лукап табела, као и њихово ажурирање зависе од коришћеног лукап алгоритма. У тези ће бити анализирана комплексност ажурирања различитих алгоритма. Посебна пажња ће бити посвећена лукап алгоритмима који су засновани на паралелизацији, као што су BPFL, и POLP. BPFL омогућава паралелни лукап формирањем више мултибитских стабала, при

чему свако обухвата префиксе из одређеног опсега дужина. Додатно, за свако мултибитско стабло, пајплајн омогућава истовремено извршавање више претрага. POLP је базиран на унибитском стаблу, које је у циљу брзог извршавања подељено на више пајплајнова.

4. Научне методе истраживања

Истраживање обухвата математички поступак за прорачун параметара балансирања и проналажење најгорих случајева саобраћаја за разне протоколе рутирања, као и симулацију, која омогућава сагледавање квалитета механизма рутирања узимајући у обзир ефекте који су последица специфичности комуникационих протокола и карактеристика преносних канала и свичева. У оквиру истраживања биће испитани и упоређени постојећи протоколи рутирања (са и без балансирања) и протоколи предложени у овом раду.

У оквиру оптимизације алгоритама ажурирања лукап структура података, истраживање се састоји од дефинисања алгоритама, одређивања њихове комплексности, имплементације алгоритама, симулације рада и евалуације квалитета мерењем релевантних перформанси рада алгорита. Поред референци [1], [3], [4], [6] и [10], референце [11]-[17] представљају теоријску основу истраживања у оквиру дисертације.

- [11] B. Towles and W. J. Dally, "Worst-case Traffic for Oblivious Routing Functions," *Computer Architecture Letters*, 2002.
- [12] L. Valiant and G. Brebner, "Universal schemes for parallel communication," *Proc. of the 13th annual symposium on theory of computing*, pp. 263-277, May 1981.
- [13] J. Kim, W. J. Dally, S. Scott, D. Abts, "Topology-Driven, Highly-Scalable Dragonfly Topology," *Proc. of International Symposium on Computer Architecture 2008*.
- [14] J. Kim, W. J. Dally, S. Scott, D. Abts, "Flattened Butterfly : A Cost-Efficient Topology for High-Radix Networks", *Proc. of ISCA*, 2007.
- [15] Z. Čiča and A. Smiljanić, "FPGA Implementation of Lookup Algorithms", *12th International Workshop on High Performance Switching and Routing 2011*, Cartagena, Spain, July 2011.
- [16] W. Jiang, Q. Wang, and V. K. Prasanna, "Beyond TCAMs: An SRAMbased parallel multi-pipeline architecture for terabit IP lookup", *Proc. of IEEE INFOCOM*, April, 2008.
- [17] M. A. Ruiz-Sanchez, E. W. Biersack, W. Dabbous, "Survey and Taxonomy of IP Address Lookup Algorithms", *IEEE Network*, March/April 2001.

5. Очекивани научни доприноси

Овај рад се бави актуелним проблемима у области рутирања високих перформанси и очекује се да ће дати следеће научне доприносе:

- математички поступак и рачунски алгоритам за оптимизацију протока у мрежама дата центара. Узимајући у обзир особине саобраћаја и број мрежних елемената у дата центрима, поступак ће дати недостајућу генеричку процедуру за оптимизацију протока коришћењем балансирања за различите топологије дата центара,
- оптимизација алгоритама за ажурирање лукап табела у рутерима високих перформанси. Поред побољшања перформанси рутера, резултати ће обезбедити боље разумевање утицаја ажурирања лукап табела, као и различитих лукап алгоритама, на перформансе рутера.

Математички поступак за проналажење параметара балансирања као резултат треба да да оптималне вероватноће са којима треба бирати сваки потенцијални међусвич у циљу минимизације загушења, односно постизања максималног протока без губитака саобраћаја, у мрежама дата центара. Овај поступак заснива се на методи линеарног програмирања. У циљу детаљног увида у оптерећености линкова, како за протоколе рутирања без балансирања, тако и за оне са балансирањем, користиће се алгоритам проналажења најгорег случаја комуникације сервера у мрежи. Најгори случај који ће бити прорачунат треба да да информацију о максималном протоку без губитака и да омогући аналитичко поређење различитих протокола рутирања за различите мрежне топологије коришћене у дата центрима.

Смањење броја операција и времена извршавања алгоритама ажурирања лукап табела је значајно са становишта перформанси и економичности рутера. У раду ће бити представљен и прорачун најгорег случаја меморијских захтева лукап табела, који је од значаја за пројектовање рутера, док ће имплементација и евалуација алгоритама ажурирања дати увид и у перформансе алгоритама ажурирања и меморијске захтеве лукап алгоритама за типичне расподеле префикса Интернет адреса.

6. План истраживања и структура рада

Алгоритам оптимизације коефицијената у циљу оптимизације протока у мрежама дата центара биће имплементиран у C++ програмском језику. У циљу тестирања, симулације и евалуације биће коришћен софтвер за симулацију комуникационих мрежа ns-3. Биће имплементиран генератор регуларних топологија дата центара, као што су fat-tree, flattened butterfly и dragonfly топологије. Симулације ће бити спроведене за TCP и UDP транспортне протоколе, регуларне топологије дата центара и испитиване протоколе рутирања.

Протокол за балансирање ће бити имплементиран укључујући и прорачун вероватноћа избора балансирајућих рутера и емулиран у мрежи виртуелних рутера.

Алгоритми ажурирања лукап табела биће имплементирани у C++ програмском језику. Имплементације ће бити интегрисане са OSPF протоколом за рутирање, и тестиране коришћењем мрежног симулатора, као и извршавањем OSPF-а у мрежи софтверских рутера и виртуелних софтверских рутера. При испитивању перформанси алгоритама биће испитивана потрошња меморије и број приступа меморијама лукап блокова, као и време извршавања. Поред мерења перформанси у току извршавања алгоритама, у докторској тези ће бити представљен и метод за аналитички прорачун најгорег случаја заузетости меморије за дату расподелу дужина префикса. Коришћењем ове методе биће анализирани меморијски захтеви за расподелу дужина префикса карактеристичну за Интернет. Лукап алгоритми биће имплементирани и анализирани за IPv4 и IPv6 протоколе.

7. Закључак и предлог

На основу изложених резултата досадашњег рада и предлога садржаја докторске дисертације, закључујемо да Наташа Максић испуњава све услове за рад на докторској дисертацији „Оптимизација и имплементација напредних протокола за рутирање”. За ментора дисертације предлажемо проф. др Александру Смиљанић, с обзиром да тема припада ужој области рутирања у пакетским мрежама.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Александра Смиљанић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Зоран Чича, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Жарко Марков, научни саветник
Институт Ирител