

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Срђана Дурковића

Одлуком бр. 5014/15-3 од 27.05.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Срђана Дурковића под насловом

Архитектура пакетског свича за ефикасно комутирање уникаст и мултикаст саобраћаја

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Срђан Дурковић је школске године 2015/2016 уписао докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду - модул Телекомуникације. Положио је све испите на докторским студијама (укључујући и допунски испит који му је прописан приликом уписа на студије) са просечном оценом 10.

Датума 23.10.2020. године, кандидат је пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Предлог нове архитектуре пакетског свича за ефикасно комутирање уникаст и мултикаст саобраћаја“.

Датума 10.11.2020. године, Комисија за студије трећег степена је размотрила предлог теме за израду докторске дисертације и упутила је предлог Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду на усвајање.

Одлуком бр. 5041/15-1 од 27.11.2020. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

- др Младен Копривица, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Марија Малнар, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
- др Лазар Сарановац, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

За ментора докторске дисертације је предложен др Зоран Чича, ванредни професор.

Датума 17.12.2020. године, кандидат је имао јавну усмену одбрану теме докторске дисертације пред изабраном Комисијом. Комисија је дала оцену „задовољно“. Комисија је предложила измену оригинално предложеног наслова у „Архитектура пакетског свича за ефикасно комутирање уникаст и мултикаст саобраћаја“ што је прихваћено од стране кандидата и ментора, па је тако усаглашени наслов унет у Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

Одлуком бр. 5014/15-2 од 20.01.2021. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

Датума 03.03.2021. године, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (одлука бр. 61206-848/2-21).

Датума 27.04.2022. године, кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену под насловом „Архитектура пакетског свича за ефикасно комутирање уникаст и мултикаст саобраћаја“.

Датума 10.05.2022. године, Комисија за студије трећег степена је потврдила испуњеност неопходних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Одлуком бр. 5014/15-3 од 27.05.2022. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу:

- др Зоран Чича, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Милан Бјелица, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Марија Малнар, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
- др Младен Копривица, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Архитектура пакетског свича за ефикасно комутирање уникаст и мултикаст саобраћаја“ кандидата Срђана Дурковића припада научној области Електротехника и рачунарство, ужа научна област Телекомуникације, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Зоран Чича, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Срђан Дурковић је рођен 29.07.1991. у Подгорици. Основну школу „Максим Горки“ и Гимназију „Слободан Шкерковић“ је завршио у Подгорици с одличним успехом. Електротехнички факултет у Подгорици је уписао 2009. године, на којем је и дипломирао 2013. године, на смеру за телекомуникације. Мастер академске студије је уписао 2013.

године на Електротехничком факултету у Београду, модул Системско инжењерство и радио комуникације. Диплому мастер инжењера електротехнике и рачунарства је стекао 2014. године.

Докторске академске студије је уписао на Електротехничком факултету у Београду, 2015. године - модул Телекомуникације. Област истраживања током докторских студија је првенствено била архитектура рутера и свичева. Као плод рада на истраживањима везаним за тему докторске дисертације објавио је више радова међу којима и два рада у међународним часописима са JCR листе.

Срђан Дурковић је запослен у компанији „Ericsson“ од 2018. године на позицији инжењера за техничку подршку у оквиру *Best Performing Network* програма за регион Европе и Јужне Америке. У оквиру ове позиције радио је на анализи перформанси 4G и 5G мрежа, детекцији евентуалних проблема и утврђивању њихових узрока. Такође, радио је на анализама које се тичу димензионисања мрежа с аспекта покривености и капацитета. Поред тога радио је и на поређењу перформанси различитих антенских система у различитим типовима окружења. У оквиру свог посла је држао презентације представницима водећих телекомуникационих оператера у Европи и Јужној Америци.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација, писана ћирилицом, обухвата 182 стране са 122 слике, 5 табела и 156 референци. Од тога, главни део дисертације, који укључује поглавља 1-11 и списак коришћене литературе, обухвата 162 стране.

Дисертација се састоји редом од: насловне стране на српском језику, насловне стране на енглеском језику, странице са подацима о ментору и члановима комисије, захвалнице, сажетка на српском језику, сажетка на енглеском језику, садржаја, једанаест поглавља (1. Увод, 2. Основи пакетске комутације, 3. Уникаст пакетски комутатори, 4. Приједлог рјешења заснованих на LB-BvN комутатору, 5. Поређење са постојећим уникаст рјешењима, 6. Процјена хардверске комплексности LB-BvN-GS, 7. Подршка за фер сервис, 8. Мултикаст пакетски комутатори, 9. Мултикаст LB-BvN-GS, 10. Поређење са постојећим мултикаст рјешењима, 11. Закључак), списка коришћене литературе, списка скраћеница, списка слика, списка табела, биографије аутора и три изјаве (Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјава о коришћењу).

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дат је кратак увод у саму област којом се бави дисертација. Изложен је кратак историјат развоја комутације, као и аспекти комутације попут фер сервиса и комутације мултикаст саобраћаја којима се бави дисертација. Наведени су и доприноси саме дисертације који ће бити изложени у наредним поглављима. На крају је дат преглед остатка дисертације по поглављима.

Друго поглавље представља поглавље које излаже и дефинише основне појмове и поставке пакетске комутације. На почетку су наведени разлози појаве и усвајања пакетске комутације, као и кратак развој интернета као најпознатије мреже која користи пакетску комутацију. Описана су два основна модела која се користе за опис архитектуре мреже - OSI модел и ТСР/ИР модел. Потом је у потпоглављу 2.1 изложена типична архитектура рутера, као и основне функције које рутер обавља. У следећем потпоглављу су изложене особине пакетских комутатора које имају велики утицај на перформансе како самих комутатора, тако и рутера као целине. У потпоглављу 2.3 су изложени главни изазови приликом креирања

ефикасних пакетских комутатора попут брзине рада меморија које се користе као бафери, брзине и ефикасности распоређивања, потрошње и др. Обзиром да бафери имају огроман утицај на перформансе пакетских комутатора и утичу на саму архитектуру комутатора, у потпоглављу 2.4 су изложене најпознатије архитектуре пакетских комутатора попут архитектуре са баферима на улазним портovima, архитектуре са баферима на излазним портovima и др. За сваку архитектуру су наведени принцип рада, као и предности и мане.

Треће поглавље је посвећено опису постојећих решења за пакетску комутацију унікаст саобраћаја. Ово поглавље представља преглед постојећих решења, и битно је јер су најбоља од постојећих решења поређена са решењима која су предложена у дисертацији. На почетку поглавља је дато образложење зашто су разматрана решења из групе пакетски комутатори са баферима на улазу, као и решења заснована на Биркхоф-фон Нојман архитектури. Потом су дате основне дефиниције и претпоставке попут дефиниције симболичке ознаке за број улазних и излазних портова, типа пакета који се комутира и сл. У првом потпоглављу су изложена најпознатија решења из групе пакетских комутатора са баферима на улазним портovima где су размотрени алгоритми са максимум упаривањем и максималним упаривањем, а посебно је издвојен и алгоритам који користи најплајн технику за постизање дистрибуиране архитектуре распоређивача чиме се превазилази проблем скалабилности централизоване архитектуре коју користе други алгоритми. Обзиром да су решења предложена у дисертацији заснована на Биркхоф-фон Нојман архитектури, у наредна четири потпоглавља су размотрена најпознатија решења заснована на овој архитектури. У потпоглављу 3.2 је прво објашњен принцип рада Биркхоф-фон Нојман архитектуре као и њене основне мане. Потом је објашњена Биркхоф-фон Нојман архитектура са балансирањем саобраћаја која садржи две фазе комутације, и која се користи у свим постојећим решењима, а која су изложена у наредним потпоглављима. У наредним потпоглављима су редом наведена и објашњена постојећа решења која користе ресеквенционе бафере на излазним портovima, решења која су заснована на употреби фрејмова, и на крају решење које је засновано на посебној симетрији конфигурација комутатора.

У четвртом поглављу су изложена предложена решења за пакетску комутацију заснована на Биркхоф-фон Нојман архитектури са балансирањем саобраћаја. У првом потпоглављу је изложено решење које је засновано на дефлекцији пакета. Описана је архитектура овог решења и принцип рада. Потом је дат и математички модел заснован на детерминистичкој теорији сервисних система, а који описује перформансе овог решења у виду горњих граница за кашњење и величину бафера. Мана овог решења је употреба ресеквенционих бафера на излазним портovima чија величина има квадратну зависност. Велика предност је постојање математичког модела који описује перформансе. У другом потпоглављу је изложено друго предложено решење (LB-BvN-GS) које је такође засновано на Биркхоф-фон Нојман архитектури са балансирањем саобраћаја, али комбинује и принцип "похлепног" распоређивања које се користи у неким решењима заснованим на архитектури комутатора са баферима на улазним портovima. Управо комбиновањем особина две најкоришћеније архитектуре пакетских комутатора су постигнуте добре перформансе са очувањем добре скалабилности. При томе, оригинална варијанта не захтева употребу ресеквенционих бафера на излазним портovima за очување редоследа пакета, а предложена је и модификована варијанта која захтева употребу ресеквенционих бафера при чему њихова величина има линеарну зависност што је боље од свих осталих решења која користе ресеквенционе бафере где је минимална зависност квадратна. На крају у трећем потпоглављу су упоређена два предложена решења и на основу резултата поређења изабрано је LB-BvN-GS решење које је унапређено подршком за фер сервис и мултикаст саобраћај што је описано у наредним поглављима.

У петом поглављу је извршено поређење предложеног решења LB-BvN-GS са одабраним постојећим решењима за унікаст комутацију. На почетку су дефинисани

саобраћајни сценарији који су коришћени за поређење попут униформног саобраћајног сценарија, хот-спот саобраћајног сценарија и др. Прво су урађена међусобна поређења решења заснованих на архитектури пакетских комутатора са баферима на улазним портovima, а потом је исто урађено за поткласе пакетских комутатора заснованих на Биркхоф-фон Нојман архитектури са балансирањем саобраћаја. На основу ових поређења су изабрани кандидати са најбољим перформансама за поређење са предложеним LB-BvN-GS решењем. Разлог за ово је да графици буду прегледни, јер са превеликим бројем решења која се међусобно пореде графици би били непрегледни, а поређењем са решењима која имају најбоље перформансе се добија добар увид у квалитативан однос LB-BvN-GS према постојећим решењима. На крају је извршено поређење LB-BvN-GS са одабраним решењима и показано је да LB-BvN-GS остварује исте или боље перформансе у односу на постојећа решења. При томе, веома добре перформансе остварује и при највећим оптерећењима. У поређењу су учествовала и основна варијанта и модификована варијанта LB-BvN-GS, и наведено важи за обе варијанте.

Шесто поглавље је за циљ имало потврђивање мале комплексности хардверске имплементације LB-BvN-GS решења (и основне и модификоване варијанте). VHDL језик је коришћен за имплементацију, при чему су имплементирани сви релевантни делови LB-BvN-GS решења. Имплементација сваког дела је описана уз дат приказ архитектуре имплементације и принципа рада. На крају је извршена процена искоришћених ресурса за све имплементиране делове која је потврдила ниску хардверску комплексност предложеног решења.

Седмо поглавље се бави увођењем подршке за фер сервис у LB-BvN-GS решење. Наведени су на почетку радови у којима је показано да постојећа решења пакетских комутатора заснованих на Биркхоф-фон Нојман архитектури са балансирањем саобраћаја имају проблематичну фер сервис подршку. Потом је у првом потпоглављу детаљно описана фер сервис подршка уведена у LB-BvN-GS решење. Описан је детаљно принцип рада, сврха централног контролера за фер сервис који омогућава фер сервис и у комплексним сценаријима, као и како се врши детекција загушених токова. Потом је у другом потпоглављу извршена процена перформанси предложеног решења при чему су рађена и поређења са постојећим решењима пакетских комутатора која су коришћена за поређење и у петом поглављу. На почетку је дефинисано шест сценарија која су коришћена за испитивање, почев од најједноставнијих где је загушен само један излазни порт до сложенијих где је загушено више излазних портова при чему истовремено неки улазни портови имају више загушених токова. Графички су приказани резултати компарације за све сценарије, при чему је на сваком графику приказана и линија која представља математички израчунат идеалан фер сервис. Из резултата компарације јасно се види да LB-BvN-GS решење са фер сервис подршком остварује најбоље резултате који се готово идеално поклапају са идеалним фер сервисом, и да је остварена фер сервис подршка значајно боља од осталих решења.

У осмом поглављу је на почетку изложен значај мултикаст саобраћаја и потреба за подршком за комутирање мултикаст пакетског саобраћаја. Потом су у три потпоглавља редом описана три новија и познатија решења за мултикаст пакетску комутацију која су коришћена за поређење са предложеним решењем, а које је описано у наредном поглављу. У првом потпоглављу је описан итеративни алгоритам за управљање мултикаст саобраћајем за комутатор са баферима на улазним портovima, у другом потпоглављу је описан пајплајн распоређивач за уникаст и мултикаст саобраћај за комутаторе са баферима на улазним портovima. У трећем потпоглављу је описан једини мултикаст пакетски комутатор заснован на Биркхоф-фон Нојман архитектури са балансирањем саобраћаја који је представљен у литератури. Он је заснован на решењу које је описано у потпоглављу 3.5. За сва три решења је детаљно описан принцип рада.

У деветом поглављу је описано увођење мултикаст подршке у LB-BvN-GS решење. Решење се заснива на креирању мултикаст стабла за сваки мултикаст ток. Унутар стабла се

врши унікаст комутирање, и сваки чвор у стаблу који није лист прави максимално две копије пакета које се прослеђују даље кроз стабло. Детаљно је описан принцип формирања мултикаст стабла, као и ажурирања мултикаст стабла (брисање и додавање чворова) при чему су дати и практични примери ради бољег разумевања описа. Такође, описане су измене, прецизније додаци, у архитектури за мултикаст подршку. Ти додаци омогућавају креирање копије пакета, као и претрагу мултикаст табеле прослеђивања. Главна идеја је да се искористи основна LB-BvN-GS унікаст архитектура без измена што је и постигнуто предложеним решењем, тако да се мултикаст подршка уводи инкременталним додавањем одговарајућих модула на већ постојећу унікаст архитектуру.

У десетом поглављу је дато поређење уведене мултикаст подршке у LB-BvN-GS решење са постојећим мултикаст решењима описаним у осмом поглављу. На почетку су дефинисане основне претпоставке које су коришћене у тестираним сценаријима. Потом су дати описи саобраћајних сценарија. На крају су дати резултати компарације у виду графика. Показано је да предложено решење има боље перформансе у односу на постојећа решења, нарочито при великим оптерећењима.

У једанаестом поглављу су дата закључна разматрања и резиме рада на дисертацији са истицањем најважнијих доприноса дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација се бави облашћу пакетске комутације. У оквиру ове области су интензивно објављивани радови последњих деценија, пре свега јер је неопходно непрестано усавршавање постојећих решења и проналажење нових услед развоја технологије који намеће све стриктније захтеве у погледу перформанси мрежних чворова тј. рутера и свичева, а чији су централни део пакетски комутатори. У дисертацији су изложени неки од критичних аспеката попут веома кратког времена за распоређивање и комутирање пакета, али и претрагу табела усмеравања, а које се мери на нивоу наносекунди у случају линкова огромне брзине 100 Gb/s и више, и који се данас већ користе у телекомуникационим мрежама. Такође, као један од проблема су и бафери са становишта подржаних протока података где постоји више решења у виду меморијских чипова специјализованих за примену у мрежним чворовима за чување пакета. Савремене мреже имају и незанемарљив удео мултикаст саобраћаја који типично има и критичне захтеве по питању кашњења и варијације кашњења. Чак и у добро пројектованим пакетским мрежама може повремено доћи до загушења, и тада је битно активирати фер сервис подршку да би се ресурси равномерно поделили међу токовима који пролазе кроз загушени део мреже. Све наведено показује да се ради о савременој тематици којом се бави и ова докторска дисертација.

У оквиру докторске дисертације је урађена свеобухватна анализа решења заснованих на Биркхоф-фон Нојман архитектури са балансирањем саобраћаја што је један од оригиналних доприноса дисертације обзиром да таква врста анализе није урађена у литератури. Али, најбитнији оригинални доприноси тезе представљају предлози решења за пакетску комутацију унікаст саобраћаја, као и унапређења за фер сервис подршку, и пакетску комутацију мултикаст саобраћаја. Додатно, извршено је испитивање перформанси како предложених тако и постојећих решења при чему су креиране симулације свих тих решења у циљу мерења перформанси за различите саобраћајне сценарије. Сама испитивања показују да се остварују високе перформансе уз прихватљиву имплементациону комплексност. Имајући у виду све наведено, докторска дисертација садржи адекватне оригиналне научне доприносе и самим тим испуњава захтеве у погледу оригиналности који се очекују од једне докторске дисертације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Докторска дисертација користи обимну и релевантну литературу доминантно из области пакетске комутације којом се и бави дисертација. Наведено је 144 референци, при чему је свака референца наведена бар једном у дисертацији. Највећи део референци је цитиран у првим поглављима која представљају увод у тематику којом се бави дисертација и опис постојећих решења и њиховог историјата. Такође, цитирани су и радови кандидата који су проистекли из истраживања током његовог рада на докторској дисертацији (5 референци). Већина референци су релевантни радови публиковани у реномираним међународним часописима и конференцијама, а такође су коришћене и веб референце за новија технолошка достигнућа. Имајући у виду обим анализе постојећих решења која обухвата и историјат развоја постојећих решења, референце обухватају и оне старијих датума, као и оне новијих што сведочи како о актуелности теме дисертације, тако и о свеобухватној анализи постојећих решења која представља битан део дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Научне методе примењене у истраживањима у оквиру ове докторске дисертације обухватају:

- Анализа доступне, актуелне и релевантне литературе из области пакетске комутације ради утврђивања тренутног стања области, детекције критичних проблема у области и могућности за унапређење области пакетске комутације.
- Анализа постојећих уникаст и мултикаст пакетских свичева - проучена су постојећа решења предложена у литератури, и урађена је селекција најбољих решења која су коришћена за компаративну анализу са решењима предложеним у оквиру дисертације.
- Примена детерминистичке теорије сервисних система у једном предложеном решењу за пакетску комутацију уникаст саобраћаја за дефинисање горњих гарантованих граница за кашњење и величину бафера.
- Развој симулатора за испитивање перформанси постојећих решења, као и решења предложених у оквиру дисертације - коришћен је C програмски језик за симулацију рада постојећих решења, као и предложених решења, при чему су мерене перформансе у виду кашњења кроз комутатор за потребе поређења. Такође, симулатор укључује и генераторе различитих саобраћајних сценарија за потребе компаративне анализе.
- Компаративна анализа предложених решења и постојећих решења - на основу мерења добијених у реализованом симулатору и анализе добијених резултата, извршена је компаративна анализа којом је процењен квалитет предложених уникаст и мултикаст решења у односу на постојећа решења.
- Дефинисање и анализа различитих сценарија преоптерећења излазних портова - урађено је дефинисање различитих сценарија преоптерећења излазних портова свича и анализа понашања свича у тим сценаријима ради утврђивања перформанси са становишта фер сервиса предложеног и постојећих решења.
- Хардверска имплементација предложеног решења за уникаст пакетску комутацију ради процене имплементационе комплексности предложеног решења, при чему је коришћен VHDL језик.

На основу наведене листе примењених научних метода, утврђено је да су употребљаване методе које су адекватне за истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Главни резултат докторске дисертације представља пакетски комутатор за унікаст саобраћај, који се лако може надоградити подршком за фер сервис и мултикаст саобраћај. Основна примена реализованог комутатора је пре свега у рутерима великих капацитета, али је могућа примена и у свичевима. У оквиру дисертације је реализована и хардверска имплементација која показује низак ниво комплексности што чини предложено решење примамљивим за практичну примену. При томе, реализована имплементација је креирана флексибилно тако да се може лакше прилагодити различитим хардверским реализацијама осталих функционалности рутера, пре свега реализацији бафера и примопредајницима који се користе за повезивање портова на комутациони модул. При томе додатни модули за мултикаст саобраћај се лако могу додати, док за додавање фер сервиса постоје две могућности - употреба једног од улазних портова као централног контролера где би се једном улазном порту додао модул за фер сервис тј. централни контролер, а друга могућност је да се у уређај који представља мрежни чвор (типично рутер) постави посебан модул као централни контролер за фер сервис. Додатно, симулатор тј. симулације постојећих и предложених решења се могу користити у едукативне сврхе за практичну демонстрацију и објашњење рада различитих пакетских комутатора, као и самих саобраћајних сценарија, али и у истраживачке сврхе за потребе компаративне анализе постојећих решења и нових решења која се развијају.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у оквиру рада на дисертацији обавио обимно истраживање литературе из области пакетске комутације и извршио преглед и анализу постојећег стања области, детектовао критичне проблеме и урадио преглед и анализу постојећих решења. Такође, кандидат је обавио компаративну анализу предложених решења и постојећих решења, уз квалитативан приказ и анализу резултата, као и адекватан одабир сценарија који су коришћени у компаративној анализи. Током рада на тези кандидат је исказао велику самосталност у раду, као и критичко размишљање. Објављивањем резултата истраживања у оквиру докторске дисертације кроз научне радове међу којима су и два рада у часописима са JCR листе, кандидат је потврдио способност за представљање својих научних доприноса у научној јавности. На основу свега наведеног, може се констатовати да је кандидат достигао адекватан степен способности за самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси дисертације су следећи:

- Свеобухватан преглед постојећих пакетских комутатора заснованих на Биркхоф-фон Нојман архитектури са балансирањем саобраћаја, као и пакетских комутатора заснованих на архитектури са баферима на улазним портовима.
- Предлог решења за пакетску комутацију за унікаст саобраћај (BvN-DLB) који се може математички моделовати применом детерминистичке теорије сервисних система у циљу одређивања горњих граница за кашњење и величину бафера.
- Предлог решења за пакетску комутацију за унікаст саобраћај (LB-BvN-GS) који комбинује најбоље особине Биркхоф-фон Нојман архитектуре са балансирањем

саобраћаја и архитектуре са баферима на улазним портovima који остварује добре перформансе уз малу хардверску комплексност.

- Процена хардверске комплексности предложеног LB-BvN-GS решења која показује ниске захтеве предложеног решења у погледу ресурса
- Предлог унапређења LB-BvN-GS решења мултикаст подршком која се заснива на инкременталном додавању подршке самом уникаст LB-BvN-GS решењу.
- Предлог унапређења LB-BvN-GS решења фер сервис подршком.
- Реализација симулатора за симулацију различитих саобраћајних сценарија, као и постојећих и предложених решења у циљу процене перформанси за различите сценарије.
- Компаративна анализа предложених и постојећих решења која показује да предложена решења остварују исте или боље перформансе у односу на постојећа решења, при чему у случају мултикаст и фер сервис подршке перформансе значајно надмашују перформансе постојећих решења.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Кандидат је успешно идентификовао могућности за унапређење области пакетске комутације и потврдио исправност полазних хипотеза постављених на почетку свог истраживања везаног за израду докторске дисертације. На основу извршених истраживања литературе, тренутног стања области и постојећих решења пакетске комутације, кандидат је успео да предложи сопствено решење које унапређује област пакетске комутације. Предложено решење остварује веома добре перформансе уз мале хардверске захтеве, при чему су остварене перформансе упоредиве или боље у односу на перформансе постојећих решења. Унапређења предложеног решења за пакетску комутацију уникаст саобраћаја подршком за мултикаст саобраћај и фер сервис заокружују комплетност предложеног решења. При томе, компаративном анализом је утврђено да перформансе у погледу мултикаст саобраћаја и фер сервиса значајно превазилазе перформансе постојећих решења у свим тестираним сценаријима што потврђује целокупан квалитет предложеног решења. Квалитет постигнутих резултата истраживања је верификован и публиковањем научних радова, међу којима се издвајају два рада у часописима са JCR листе.

4.3. Верификација научних доприноса

Радове наведене у овој секцији је кандидат објавио за време докторских студија и истраживања у оквиру рада на својој дисертацији и у непосредној су вези са докторском дисертацијом. У наставку је дат списак тих радова:

Категорија M21:

1. **S. Durkovic**, Z. Cica, „Multicast Load-Balanced Birkhoff-Von Neumann Switch With Greedy Scheduling,“ *IEEE Access*, vol.8, pp. 120654-120667, July 2020, IF₂₀₁₉=3.745, ISSN 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3006370.

Категорија M22:

1. **S. Durkovic**, Z. Cica, „Birkhoff-von Neumann Switch Based on Greedy Scheduling,“ *IEEE Computer Architecture Letters*, vol.17(1), pp. 13-16, Jan.-June 2018, IF₂₀₁₇=1.521, ISSN 1556-6056, DOI: 10.1109/LCA.2017.2707082.

Категорија M33:

1. **S. Durkovic**, Z. Cica, „Birkhoff-von Neumann switch with deflection based load balancing,“ *Proc. of TELFOR 2016*, Belgrade, Serbia, November 2016, pp. 1-4, ISBN 978-1-5090-4086-5, DOI: 10.1109/TELFOR.2016.7818731.
2. **S. Durkovic**, Z. Cica, „Fair Service Analysis of Load Balanced Birkhoff-von Neumann Switches,“ *Proc. of icETLAN 2017*, Kladovo, Serbia, June 2017, pp. TEI2.2.1-5, ISBN 978-86-7466-692-0.
3. **S. Durkovic**, Z. Cica, „Load Balanced Birkhoff-von Neumann Switch with Output Congestion Detection,“ *Proc. of TELSIKS 2017*, Niš, Serbia, October 2017, pp. 283-286, ISBN 978-1-5386-1799-1, DOI: 10.1109/TELSKS.2017.8246281.

Категорија M52:

1. **S. Durkovic**, Z. Cica, „Birkhoff-von Neumann Switch with Deflection Based Load Balancing,“ *Telfor Journal*, vol. 9(1), pp. 14-19, 2017, ISSN 1821-3251, DOI: 10.5937/telfor1701014D.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ


Комисија сматра да докторска дисертација „Архитектура пакетског свича за ефикасно комутирање уникаст и мултикаст саобраћаја“ кандидата Срђана Дурковића испуњава све суштинске и формалне услове који су предвиђени Законом о високом образовању и релевантним прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У оквиру докторске дисертације кандидата је извршен детаљан преглед и анализа постојећих решења у области пакетске комутације уникаст и мултикаст саобраћаја. Предложена су два решења пакетског свича за комутирање уникаст саобраћаја и на основу поређења њихових перформанси и комплексности одабрано је решење које је даље унапређивано подршком за мултикаст саобраћај, као и подршком за фер сервис. Изабрано предложено решење и његова унапређења су поређена са постојећим решењима да би се компаративно упоредило предложено решење пакетског свича са другим решењима. Утврђено је да у случају и уникаст и мултикаст саобраћаја предложено решење постиже исте или боље перформансе, уз ниску комплексност имплементације. У случају фер сервиса, предложено решење надмашује значајно постојећа решења. За потребе поређења су креиране симулације постојећих решења, као и предложених решења, као и одговарајуће симулације саобраћајних сценарија који су коришћени у поређењима. Остварени резултати имају добар потенцијал за примену у пракси у рутерима великих капацитета. Кандидат је показао да има способност за самосталан научни рад што је и потврдио објављивањем радова везаних за тему докторске дисертације у међународним часописима и конференцијама, као и резултатима оствареним у оквиру саме дисертације.

Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Архитектура пакетског свича за ефикасно комутирање уникаст и мултикаст саобраћаја“ кандидата **Срђана Дурковића** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 01.06.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Зоран Чича, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милан Бјелица, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Марија Малнар, ванредни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет



др Младен Копривица, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет