

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ПОДОБНОСТИ ТЕМЕ, КАНДИДАТА И МЕНТОРА ЗА
ИЗРАДУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

Орган који је именовео комисију: Декан ФТН, Решењем бр. 012-199/8-2022 на основу Одлуке НН већа ФТН, а у складу са Статутом ФТН

Датум именовања комисије: 31.03.2022.

Састав комисије именоване у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду*:

- | | | |
|--|------------------|-----------------------------------|
| 1. Др Војин Шенк | Редовни професор | Телекомуникације и обрада сигнала |
| презиме и име | звање | ужа научна област |
| Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду | | Председник |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
-
- | | | |
|--|------------------|-----------------------------------|
| 2. Др Дејан Вукобратовић | Редовни професор | Телекомуникације и обрада сигнала |
| презиме и име | звање | ужа научна област |
| Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду | | Члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
-
- | | | |
|--|------------------|-----------------------------------|
| 3. Др Владо Делић | Редовни професор | Телекомуникације и обрада сигнала |
| презиме и име | звање | ужа научна област |
| Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду | | Члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
-
- | | | |
|--|------------------|-----------------------------------|
| 4. Др Жељен Трповски | Редовни профедор | Телекомуникације и обрада сигнала |
| презиме и име | звање | ужа научна област |
| Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду | | Члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
-
- | | | |
|--|--------|---------------------|
| 5. Др Младен Копривица | Доцент | Телекомуникације |
| презиме и име | звање | ужа научна област |
| Електротехнички факултет, Универзитет у Београду | | Члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме: Теодор, Младен, Малбашић
2. Датум рођења: 28.04.1993. Место и држава рођења: Београд, Република Србија

II.1 Основне или интегрисане студије

Година уписа: Година завршетка: Просечна оцена током студија:

Универзитет: Универзитет у Новом Саду

Факултет: Факултет техничких наука

Студијски програм: Енергетика, електроника и телекомуникације

Стечено звање: Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства

II.2 Мастер или магистарске студије

Година уписа: Година завршетка: Просечна оцена током студија:

Универзитет: Универзитет у Новом Саду

Факултет: Факултет техничких наука

Студијски програм: Енергетика, електроника и телекомуникације

Стечено звање: Мастер инжењер електротехнике и рачунарства

Научна област: Телекомуникације и обрада сигнала

Наслов завршног рада: Дистрибуирани фајл системи

II.3 Докторске студије

Година уписа:

Универзитет: Универзитет у Новом Саду

Факултет: Факултет техничких наука

Студијски програм: Енергетика, електроника и телекомуникације

Број ЕСПБ до сада остварених: Просечна оцена током студија:

II.4 Приказ научних и стручних радова кандидата

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
1.	Malbašić T. , Bojović P.D, Bojović Ž., Šuh J. and Vujošević D, <i>Hybrid SDN Networks: A multi-parameter server load balancing scheme</i> , Journal of Network and Systems Management (2022), Vol 30, No 2, pp. 1-28, ISSN: 1064-7570 (IF(2020) = 2.026) https://doi.org/10.1007/s10922-022-09642-y	M23
Рад припада проблематици докторске дисертације: <u>ДА</u> НЕ ДЕЛИМИЧНО		

Р. бр.	аутори, наслов рада, часопис, волумен (година) странице од-до, DOI или ISBN/ISSN	категорија
2.	Bojović, P.D., Malbašić, T. , Vujošević, D. Martić, G., Bojović, Ž., <i>Dynamic QoS Management for a Flexible 5G/6G Network Core: A Step toward a Higher Programmability</i> . Sensors 2022, Vol. 22, Iss. 8, 2849. ISSN: 1424-8220, (IF(2020) = 3.576), https://doi.org/10.3390/s22082849	M22
Рад припада проблематици докторске дисертације: <u>ДА</u> НЕ ДЕЛИМИЧНО		

III ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ ТЕМЕ

Оцена:

III.1 формулације наслова тезе

Развој и имплементација LBORU метода за динамичко балансирање оптерећења сервера у хибридном SDN мрежама

Наслов тезе је подобан?

ДА

НЕ

ДЕЛИМИЧНО

III.2 предмета (проблема) истраживања

Рачунарске мреже са традиционалном, хијерархијски организованом мрежном архитектуром, нису у стању да на адекватан начин одговоре на бројне изазове у вези са брзим растом броја корисника/уређаја у мрежи (тренутно, тај раст се може апроксимирати експоненцијалном функцијом, али то, наравно, не може вечно да траје), реализацију нових и све захтевнијих сервиса (углавном повезаних са IoT технологијом) и појаву нових видова комуникација као што је она између машина (*machine to machine* - M2M). Један од основних разлога лежи у хетерогености рачунарске инфраструктуре, коју чине уређаји различитих произвођача. Ови уређаји у највећој мери користе сопствене (енгл. *proprietary*) протоколе, што је често узрок недостатка интероперабилности, односно непостојања адекватне комуникације између појединих уређаја у мрежи. Рад традиционалних рачунарских мрежа оптерећен је и другим проблемима као што су:

- Комплексност управљања мрежном инфраструктуром - захтева се познавање великог броја мрежних технологија и конфигурација већег броја уређаја, да би се имплементирао један сервис, а присутна су и бројна нестандартна решења са израженим проблемом интероперабилности у раду опреме различитих произвођача (процес стандардизације протокола траје веома дуго).
- Постојање великог броја функционалности дефинисаних у хардверу - утиче на високе трошкове реализације инфраструктуре и недовољан степен флексибилности, што успорава процес увођења нових апликација и сервиса.

Решење поменутих проблема лежи у развоју и имплементацији нових мрежних технологија, којима се акценат ставља на процес „раздвајања“ хардверске од софтверске инфраструктуре. Нормално, ово је само груба дефиниција, која суштински указује на потребу да се имплементација нових сервиса и апликација учини што независнијом од хардвера, а да се интенција даљег развоја у области умрежавања пренесе у домен напредних софтверских технологија. Овакав, на софтверу заснован концепт мрежне архитектуре (енгл. *Software Defined Networking* – SDN), треба да омогући реализацију стратешког циља – имплементацију значајног вишег нивоа програмабилности у рачунарским мрежама и изградњу флексибилније и скалабилније мрежне инфраструктуре, која би у потпуности одговорила свим тренутним, али и будућим захтевима савременог друштва у целини. SDN у суштини представља мрежну парадигму чији су основни принципи:

- Одвајање равни података (енгл. *data plane*) од равни управљања (енгл. *control plane*) и
- Централизација мрежне логике у једној тачки - на SDN контролеру.

Висок ниво програмабилности у мрежи постиже се применом напредних софтверских решења на контролеру, применом програмабилних интерфејса отвореног стандарда као што је *OpenFlow* стандард и имплементацијом различитих техника виртуелизације. Тиме се стварају услови да се на ефикасан начин реализују веома хетерогена мрежна окружења, са комплексним сервисним архитектурама и, што је изузетно важно, поједностави управљање мрежом и смање трошкови имплементације. Још једна битна карактеристика SDN концепта јесте да се непрекидно прате перформансе мрежне инфраструктуре (појединачно и у целини), брзо идентификују проблеми у раду мреже, а саобраћај оптимално рутира и преусмерава без утицаја на сервисе корисника, уз балансирање оптерећења на апликативном нивоу.

Упркос бројним предностима, потпуна имплементација SDN функционалности (тзв. *full SDN*)

концепт) у пракси није могућа. Она би захтевала замену комплетне традиционалне рачунарске инфраструктуре новом SDN опремом. То изискује велике издатке, као и прекид саобраћаја и значајне губитке током процеса замене уређаја. Зато се мрежни оператори углавном опредељују за инкременталну примену SDN функционалности, постепеном заменом традиционалне опреме SDN уређајима или „додавањем“ подршке за рад са *OpenFlow* протоколом на уређајима где је то могуће урадити. Овакав концепт архитектуре назива се хибридном SDN мрежом и могуће га је реализовати применом једног од следећа два решења или њиховом комбинацијом:

1. Заменом дела традиционалних мрежних уређаја SDN свичевима и
2. Имплементацијом хибридних SDN свичева који поседују SDN, али и традиционалне функционалности *switching-a*, *routing-a*, *firewalling-a*, као и друге мрежне функције.

Предмет истраживања које ће бити спроведено у оквиру ове тезе биће развој и имплементација минимално инвазивног метода, којим би се кроз имплементацију минималног броја SDN компоненти, изградила хибридна SDN мрежа високог степена доступности, ефикасности и безбедности апликација и сервиса. Зато ће посебна пажња бити посвећена идентификацији оних делова мреже у којима је неопходно обезбедити висок ниво програмабилности, омогућајући динамичку алокацију ресурса као одговор на бројне и све хетерогеније захтеве корисника.

Даље, имајући у виду да ови захтеви све више долазе из тзв. интелигентних окружења, која карактеришу велика динамика и различита структурираност података, истраживање ће се фокусирати и на дефинисање и примену методологије којом би се обезбедила адекватна контрола токова, ефикасније рутирање саобраћаја и оптимално балансирање оптерећења (енг. *load balancing*) на расположивим ресурсима у мрежи. Ово је важно, да би се избегла евентуална појава загушења и преоптерећења ресурса, у комплексним мрежним окружењима, као што су *data* центри у којима се данас углавном користи виртуелна рачунарска инфраструктура, али се могу срести и традиционални елементи мреже. Нови метод са имплементацијом минималног броја SDN компоненти (свичева), биће примењен заједно са новом техником управљања саобраћајем, коју није могуће применити у традиционалној мрежи. То је управо фокус овог дела истраживања, где је основни задатак да се дефинише алгоритам балансирања саобраћаја, који ће са једне стране узимати у обзир потребе различитих група сервиса за ангажовањем одређених ресурса, а са друге стране њихову расположивост у мрежи. Другим речима, предмет овог дела истраживања је развој ефикасног алгоритма за балансирање оптерећења и дефинисање композитне метрике са применом на SDN контролеру, како би се генерисале инструкције свичевима и усмеравао саобраћај.

Посебан допринос у оквиру овог истраживања биће и разматрање могућности ефикасне примене SDN функционалности и претходно поменутих решења, у *core*-у будућих 5G/6G мобилних мрежа. Наиме, тренд даљег ширења SDN технологије и *cloud* организације мреже је у фокусу академске заједнице, као и потреба за развојем и креирањем широко програмабилних мрежних окружења у којим се може динамички управљати квалитетом сервиса (енгл. *Quality of Service* - QoS). Зато ће централни део овог дела истраживања, осим примене поменутих техника управљања оптерећењем, бити разматрање могућности динамичког конфигурисања параметара редова (енгл. *queues' parameters*) на самим SDN уређајима и то у складу са захтевима за управљање услугама, који би били дефинисани на слоју апликације. У ту сврху, биће коришћен OVSDB протокол (енгл. *Open vSwitch Database Management Protocol*), како би се проширила функционалност SDN контролера и реализовали:

- Оптимални E2E *slicing* у дељеном окружењу мултидоменских мрежа какве ће бити будуће 5G/6G мреже
- Ефикасан, динамички QoS механизам кроз динамичко управљање редовима (енгл. *dynamic queueing*).

Предмет истраживања је подобан?	ДА	НЕ	ДЕЛИМИЧНО
---------------------------------	----	----	-----------

III.3 познавања проблематике на основу изабране литературе са списком литературе

SDN технологија се данас примењује у различитим мрежним окружењима (нпр. data центри, компанијске мреже, 5G/6G мобилне мреже, Индустрија 4.0 и друго), са циљем да се подржи ефикасна виртуелизација мреже и имплементациј виртуелизованих мрежних функција (енгл. *Network Functions Virtualization* - NFV). Тиме се даје могућност контроле и управљања виртуелизованим ресурсима и мрежом, чак и без детаљног познавања хардверских технологија [1]. Ова је примена посебно интересантна са аспекта data центара, где процес виртуелизације уводи већи степен скалабилности и безбедности, омогућава аутоматизацију процеса миграције виртуелних машина унутар инфраструктуре и позитивно утиче на коришћење серверских и мрежних ресурса [2]. Применом SDNa омогућава се апстракција у равни података, укључујући апстракцију у домену прослеђивања пакета, разне моделе апстракције комутације кола, као и бежична интеграција и развијена подршка за пакетску комутацију [1]. Бројни сервиси, који традиционално раде на наменској опреми (нпр. *firewall*, *load balancer* и други), сада могу да се виртуелизују и поставе ближе жељеној тачки у мрежи, веома често и у виртуелним контејнерима са апликацијама. Другим речима, стварају се услови да више логичких мрежа ради на заједничкој физичкој инфраструктури (енгл. *shared infrastructure*). Додатна предност је то што се применом SDN технологије стварају услови и за имплементацију различитих алата машинског учења (енгл. *machine learning*) и алгоритама вештачке интелигенције (енгл. *artificial intelligence*), чиме се пре свега аутоматизује процес управљања мрежом. То данас није пракса само у data центрима већ и у другим окружењима, као што је нпр. индустрија 4.0 [3]. Једноставно, поменути алати се широко користе како би се правилно и брзо артикулисали захтеви различитих сервиса (нпр. у погледу пропусног опсега, кашњења и поузданости) и обезбедила ефикасна оркестрација са апликационог слоја. Посебан утицај компоненте вештачког учења на развој мрежне инфраструктуре може се уочити са становишта модерних мрежа, у којима се примењује тзв. *network slicing* технологија [4, 5, 6], да би се на заједничкој инфраструктури „изоловале“ различите групе сервиса. Другим речима, ова технологија подразумева креирање виртуелних мрежа на једној дељеној (физичкој) инфраструктури, где примена различитих модела вештачке интелигенције води ка ефикаснијем управљању и стварању услова да се ефикасно одговори на различите QoS захтеве на дељеној мрежној инфраструктури, при томе водећи рачуна и о приватности података. Очигледно је да је управо шира примена вештачке интелигенције кључан фактор у даљој еволуцији архитектуре рачунарских мрежа.

Међутим, пуна имплементација SDN функционалности у рачунарским мрежама оптерећена је бројним изазовима техничке, финансијске и пословне природе. Зато је хибридна SDN инфраструктура тзв. средње решење, које представља интеграцију старих и SDN уређаја који раде паралелно и користе предности традиционалних и SDN мрежа, те је неопходно развити стратегију за имплементацију такве инфраструктуре [7]. Овде је важно указати на чињеницу, да су хибридне SDN мреже комплексан еко систем, састављен од централизованих и децентрализованих архитектура, које морају међусобно комуницирати да би се постигле оптималне перформансе, али и потребан квалитет искуства на страни корисника (енгл. *Quality of experience* - QoE). Хибридна SDN архитектура се суштински ослања на 3C модел [7] и подразумева коегзистенцију (енгл. *Coexistence*) хетерогене инфраструктуре (нпр. у равни података, контролној равни или у равни података и контроле), комуникацију (енгл. *Communication*) односно интеракцију традиционалних и SDN уређаја (мора се омогућити разумевање и дељење функционалности и дистрибуција на нивоу података и у контролној равни) и тзв. укрштање (енгл. *Crossbreeding*) кроз комбинацију различитих мрежних парадигми са комплементарним карактеристикама, како би се минимизовао буџет, поједноставила транзиција, аутоматизација и дефиниција саобраћајне политике и обезбедила скалабилност и робусност високог нивоа. Међутим, сама изградња хибридне SDN мреже праћена је одређеним ограничењима [7]. Она се углавном односе на сложеност управљања хетерогеном контролном равни (процес реконфигурације у мрежи може изазвати одређену недоследност у прослеђивању и узроковати петље и саобраћајне црне рупе (енгл. *traffic black holes*) [8, 9]) и комплексност у равни података (тзв. „превођење“ протокола у комуникацији између традиционалних и SDN сегмената често води до деградације перформанси у вези са кашњењем и временом обраде). Додатно, ограничавајући фактор може бити имплементација два или више контролера у оквиру хибридне SDN инфраструктуре (може изазвати проблем са кашњењем, инжењерингом саобраћаја, скалабилности и безбедношћу). Суштински посматрано, иако је главни изазов имплементирати адекватне методе саобраћајног инжењеринга у окружењу где сваки уређај

не подржава апстракцију тока [10], хибридне архитектуре могу бити погодно решење за постизање захтеваног нивоа квалитета услуге, посебно у конвергентним мрежама [11]. Ово користе провајдери Интернет услуга, који инкременталном применом SDN мрежне инфраструктуре (заменом традиционалних SDN уређаја, простим додавањем SDN уређаја или имплементацијом SDN функционалности на постојећим уређајима [12, 13]), постижу виши ниво програмабилности у мрежи и имплементирају ефикасније управљање саобраћаја [14] класификујући га на програмабилан и непрограмабилан у зависности од тога да ли саобраћај пролази кроз SDN свич. Нека истраживања [15] показала су да хибридни SDN модел бежичне мреже може обезбедити добре перформансе, посебно у вези са отпорношћу на кварове путање. Тако су урађена одређена истраживања, где је хибридни SDN имплементиран у аутомобилским ад хок мрежама еда би се обезбедио пренос података са краја на краја кроз флексибилно, скалабилно и програмабилно мрежно окружење.

Све већи број корисника/уређаја у мрежи, експлозија нових сервиса и нови видови комуникација представљају генератор значајног раста саобраћаја у мрежама. То може довести до проблема преоптерећења појединих ресурса или мреже у целини. Да би се избегао овакав сценарио, потребно је применити различите шеме балансирања оптерећења и побољшати ефикасност и поузданост мреже (нпр. повећањем скалабилности и пропусности, смањењем времена одговора и потрошње ресурса, избегавањем преоптерећења било ког појединачног ресурса) [16]. У пракси се обично примењују статичко или динамичко балансирање саобраћаја, или њихова комбинација, коришћењем четири традиционалне шеме балансирања оптерећења [17]. Прва шема се односи на клијенте који прикупљају параметре покретања сервера да би распоредили захтеве различитим серверима и постигли одређени ниво балансирања оптерећења. Друга шема комбинује технологију балансирања оптерећења с технологијом кеширања како би се побољшала брзина приступа. Трећа шема је заснована на DNS-у, где више IP адреса у кластерима сервера може да користи један домен (сервери имена домена користе метод скупљања за планирање захтева клијената на различите сервере). Упркос једноставности ове шеме, DNS сервер није свестан разлике између сервера, и не може да одражава тренутно стање сервера [18]. Балансирање оптерећења на транспортном слоју представља четврту шему засновану на комуникацији између клијената и сервера за балансирање оптерећења која прослеђује захтеве клијената *backend* серверима у складу са смерницама (нпр. *Linux* виртуелни сервер [19]). Овај приступ је ефикасан, али скуп јер често захтева додатни хардвер.

У SDN мрежама контролер доноси одлуку о прослеђивању за сваки нови ток и тиме има кључну улогу у балансирању оптерећења и избору најмање оптерећеног сервера у реалном времену (енгл. *Real-time Least loaded Server selections*) [20]. Међутим, централизација мрежне логике у једном контролеру може бити проблем у погледу одзива, поузданости и скалабилности [21]. Детерминистички приступ балансирању оптерећења у SDN мрежама увек даје исти излаз за одређени улаз, док недетерминистички приступ представља алгоритам који има различите резултате на различитим путањама за исти улаз [16]. Без обзира на то који се приступ балансирања оптерећења примењује у мрежи, морају бити дефинисане одговарајуће метрике. За евалуацију шеме балансирања оптерећења у SDN-у користе се различити параметри као што су нпр. искоришћеност ресурса (избор оптималног алгоритма за балансирање оптерећења може максимизовати коришћење ресурса [22]), кашњење (нпр. алгоритми за балансирање оптерећења засновани на директном рутирању минимизују кашњење [23]), величина губитака пакета, време одзива, проток, радно оптерећење на контролерима [24], потрошња енергије (избор одговарајуће шеме балансирања оптерећења може да смањи потрошњу енергије [25]), прослеђивање уноса (потребно је смањити број уноса за прослеђивање ради уштеде меморијских ресурса [26]), и време извршења. С обзиром на растућу сложеност инфраструктуре и обима саобраћаја, намеће се потреба да се размотри могућност примене вишеструког балансера оптерећења за различите услуге (нпр. један за веб саобраћај, а други за е-пошту) [27, 28]. Међутим, нека истраживања [29], указују на могућност настанка дисбаланса оптерећења у мрежи када постоји више SDN контролера, што значајно деградира нивое услуга у неким деловима мреже. Као могуће решење, предлаже се нова шема балансирања оптерећења, заснована на техници целобројног линеарног програмирања (енгл. *integer linear programming technique*).

Будући да пуна имплементација SDN-а није могућа у кратком року, научна заједница се све више фокусира на решавање проблема балансирања оптерећења у хибридном SDN мрежама. Тако се у неким истраживањима [30], предлаже иновативни метод рутирања и расподеле токова (енгл. *flow scheduling*) праћењем искоришћености линкова и CPU јединица као метрике. Јасно је да се фокус истраживања све више усмерава на унапређење управљања саобраћајним токовима [31]. Једно од решења која се предлажу јесте управљање протоком засновано на механизму раздвајања. Другим речима, путања за сваки ток мора да пролази кроз SDN свич еда би се постигла боља контрола тока и инжењеринг саобраћаја (као метрика се користи искоришћеност линка). Овакав приступ не гарантује квалитет сервиса и може довести до неефикасности процеса рутирања, а разлог је што се у овом, као и уосталом у највећем броју других шема за балансирање оптерећења, као метрика не користе сви QoS параметри. Стога ће нагласак у овом истраживању управо бити стављен на избор различитих QoS параметара за оптимизацију одлука о балансирању саобраћаја у различитим сценаријима услуга. Ово може бити од великог интереса када је у питању примена SDN-а унутар *data* центара. Да би реализовали ефикасно прослеђивање саобраћаја, у неким истраживањима се користи QoS *aware* механизам за рутирање [32], са метриком заснованом на губитку пакета, кашњењу и пропусном опсегу. Главна ограничења овог приступа су висока сложеност у погледу израчунавања и могућег повећања кашњења обраде. Суштински посматрано, значајно ограничење у многим шемама балансирања оптерећења јесте то што оне не укључују континуирано откривање оптерећења ресурса у процесу доношења одлука, а то је од суштинског значаја с обзиром на природу нових комуникација (нпр. IoT и M2M) и растући тренд корисника Интернета. Постојећи методи балансирају саобраћај користећи метрику саобраћаја (нпр. метрику везе, пропусни опсег и RTT (енгл. *round-trip time*) параметар) и не узимају у обзир захтеве за ресурсима услуге. Управо због тога, циљ овог истраживања односно тезе је развој такве шеме балансирања оптерећења која би се могла прилагођавати потребама сервиса у погледу коришћења ресурса.

У блиској будућности се очекује примена 5G/6G мобилних мрежа које ће свако бити хибридне, веома сложене архитектуре, и које ће инкорпорирати осим бежичних и нека решења из области оптичких комуникација. Тренутно се већина истраживача фокусира на имплементацију нових технологија у приступним мрежама и *edge* сегменту мреже, како би се остварила ултра висока брзина преноса пакета, смањило кашњење, обезбедио вишеструки приступ и унапредила поузданост у мрежи. Међутим, само увођење ових нових технологија није довољно да се реше сви изазови, па је примена SDN и NFV (енгл. *Network Functions Virtualization*) технологије основни покретач који треба да омогући изградњу робусне, флексибилне, исплативе и, што не рећи, интелигентне мрежне инфраструктуре [33]. Обезбеђивање такве архитектуре могуће је само одвајањем мрежних функција од хардвера и њиховом имплементацијом у софтверу, што обезбеђује висок ниво програмабилности у мрежи, скраћујући новим услугама време појаве на тржишту [34]. Само на овај начин могуће је савладати тренутни експоненцијални раст броја корисника и нове врсте комуникација, као и појаву сложенијих услуга уз потребу да се омогући OTT провајдерима (енгл. *Over-The-Top*) да повежу своје услуге и апликације са 5G/6G инфраструктуром [35].

Имајући све ово у виду, лако се може закључити да динамичко управљање QoS-ом постаје од виталног значаја за 5G и посебно будуће 6G мобилне комуникације и да захтева брзе и ефикасне одговоре на многе изазове, као што су мања кашњења, већи обим саобраћаја и веће брзине преноса података. Многи чланови научне заједнице решење виде управо у синергији претходно поменутих технологија и даљој „софтверизацији“ мреже заснованој на *cloud computing* принципима [36]. Они указују на потенцијалне предности, као што су омогућавање удруживања ресурса, скалабилност, слојевито међусобно повезивање и повећана спектралну ефикасност. Са аспекта великих мрежа, као што ће бити 5G и посебно 6G мреже, специфичне компоненте *OpenFlow* архитектуре биће предмет континуираног развоја. Промене у оквиру овог стандарда које се односе на QoS, представљају значајан изазов, посебно када се узме у обзир да у оквиру *OpenFlow* протокола још увек постоји много слободног простора за имплементацију нових, свеобухватнијих решења богатих функцијама [37, 38, 39]. Циљ да се изврши интеграција SDN технологије са SOA концептом (енгл. *Service-Oriented Architecture*) [40] представља главни изазов у обезбеђивању *potrebnoг* нивоа QoS-а у мрежама, па се процес управљања QoS-ом категоризује у пет главних категорија чији се утицај на *end-to-end* комуникацију мора детаљно анализирати. Управо развој

5G и посебно 6G мрежа повећава учесталост истраживања на ову тему. Фокус се ставља на обезбеђивање адаптивног QoS -а у SDN окружењу, са хетерогеном инфраструктуром, где се адаптивност QoS-а *end-to-end* комуникацијама посматра у смислу динамичког управљања редовима [41], што ће бити у центру пажње и овог истраживања.

- [1]. Shin, M., Nam, K., Kim, H.: Software-defined networking (SDN): a reference architecture and open APIs. In: International Conference on ICT Convergence, ICTC 2012, pp. 360–361 (2012). <https://doi.org/10.1109/ICTC.2012.6386859>
- [2]. Al-Fares, M., Loukissas, A., Vahdat, A.: A scalable, commodity data center network architecture. ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 38(4), 63–74 (2008). <https://doi.org/10.1145/1402946.1402967>
- [3]. Messaoud, S., Bradai, A., Moula, E.: Online GMM clustering and mini-batch gradient descent based optimization for industrial IoT 4.0. IEEE Trans. Indus. Inform. 16(2), 1427–1435 (2020). <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2945012>
- [4]. Messaoud, S., Bradai, A., Ahmed, O.B., Anh Quang, Ph.T., Atri, M., Hossain, M.S.: Deep federated Q-learning-based network slicing for industrial IoT. IEEE Trans. Ind. Inform. 17(8), 5572–5582 (2021). <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3032165>
- [5]. Lara, A., Kolasani, A., Ramamurthy, B.: Network innovation using OpenFlow: a survey. IEEE Commun.Surv. Tutor. 16(1), 493–512 (2014). <https://doi.org/10.1109/SURV.2013.081313.00105>
- [6]. Scott-Hayward, S.: Design and deployment of secure, robust, and resilient SDN controllers. In: 1st IEEE Conference on Network Softwarization, NetSoft 2015, pp. 1–5 (2015). <https://doi.org/10.1109/NETSOFT.2015.7258233>
- [7]. Rathee, S., Sinha, Y., Haribabu, K.: A Survey: Hybrid SDN. J. Netw. Comput. Appl. 100, 35–55 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.10.003>
- [8]. Vissicchio, S., Vanbever, L., Bonaventure, O.: Opportunities and research challenges of hybrid software defined networks. ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 44(2), 70–75 (2014). <https://doi.org/10.1145/2602204.2602216>
- [9]. Vissicchio, S., Vanbever, L., Cittadini, L., Xie, G.G., Bonaventure, O.: Safe routing reconfigurations with route redistribution. In: IEEE Conference on Computer Communications, IEEE INFOCOM 2014, pp. 199–207. <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2014.6847940>
- [10]. He, J., Song, W.: Achieving near-optimal traffic engineering in hybrid software defined networks. In: IFIP Networking Conference (IFIP Networking), 2015, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1109/IFIPNetworking.2015.7145321>
- [11]. Bahasse, A., Louhab, F.E., Ait Oulahyane, H., Talea, M., Bakali, A.: Novel SDN architecture for smart MPLS Traffic Engineering-DiffServ Aware management. Future Gener. Comput. Syst. 87, 115–126 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.066>
- [12]. Xu, H., Fan, J., Wu, J., Qiao, C., Huang, L.: Joint deployment and routing in hybrid SDNs. In: IEEE/ACM 25th International Symposium on Quality of Service, IWQoS 2017, pp. 1–10 (2017). <https://doi.org/10.1109/IWQoS.2017.7969133>
- [13]. Casey, D.J., Mullins, B.E.: SDN shim: controlling legacy devices. In: IEEE 40th Conference on Local Computer Networks, LCN 2015, pp. 169–172 (2015). <https://doi.org/10.1109/LCN.2015.7366298>
- [14]. Poularakis, K., Iosifidis, G., Smaragdakis, G., Tassiulas, L.: One step at a time: optimizing SDN upgrades in ISP networks. In: IEEE Conference on Computer Communications, IEEE INFOCOM 2017, pp. 1–9 (2017). <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2017.8057136>
- [15]. Nunez-Martinez, J., Baranda, J., Mangues-Bafalluy, J.: A service-based model for the hybrid software-defined wireless mesh backhaul of small cells. In: 11th International Conference on Network and Service Management, CNSM 2015, pp. 390–393 (2015). <https://doi.org/10.1109/CNSM.2015.7367388>
- [16]. Neghabi, A.A., Navimipour, N.J., Hosseinzadeh, M., Rezaee, A.: Load balancing mechanisms in the software defined networks: a systematic and comprehensive review of the literature. IEEE Access 6, 14159–14178 (2018). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2805842>
- [17]. Shang, Z., Chen, W., Ma, Q., Wu, B.: Design and implementation of server cluster dynamic load balancing based on OpenFlow. In: International Joint Conference on Awareness Science and

- Technology & Ubi-Media Computing, iCAST 2013 & UMEDIA 2013, pp. 691–697 (2013). <https://doi.org/10.1109/ICAWSST.2013.6765526>
- [18]. Xu, Z., Huang, R., Bhuyan, L.N.: Load balancing of DNS-based distributed Web server systems with page caching. In: Tenth International Conference on Parallel and Distributed Systems, ICPADS 2004, pp. 587–594 (2004). <https://doi.org/10.1109/ICPADS.2004.1316141>
- [19]. Tong, R., Zhu, X.: A load balancing strategy based on the combination of static and dynamic. In: 2nd International Workshop on Database Technology and Applications, pp. 1–4 (2010). <https://doi.org/10.1109/DBTA.2010.5658951>
- [20]. Guo, Z., Su, M., Xu, Y., Duan, Z., Wang, L., Hui, S., Chao, H.J.: Improving the performance of load balancing in software-defined networks through load variance-based synchronization. *Comput. Netw.* 68, 95–109 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2013.12.004>
- [21]. Yeganeh, S.H., Tootoonchian, A., Ganjali, Y.: On scalability of software-defined networking. *IEEE Commun. Mag.* 51(2), 136–141 (2013). <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6461198>
- [22]. Sharma, S., Singh, S., Sharma, M.: Performance analysis of load balancing algorithms. *World Acad.Sci. Eng. Technol.* 38, 269–272 (2008). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1061232>
- [23]. Kaur, S., Singh, J.: Implementation of server load balancing in software defined networking. In: *Information Systems Design and Intelligent Applications: Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 434, Springer, New Delhi (2016). https://doi.org/10.1007/978-81-322-2752-6_14
- [24]. Song, P., Liu, Y., Liu, T., Qian, D.: Flow Stealer: lightweight load balancing by stealing flows in distributed SDN controllers. *Sci. China Inf. Sci.* 60(3), 032202 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11432-016-0333-0>
- [25]. Hu, Y., Luo, T., Beaulieu, N.C., Wang, W.: An initial load-based green software defined network. *Appl.Sci.* 7(5), 459 (2017). <https://doi.org/10.3390/app7050459>
- [26]. Zhang, J., Xi, K., Luo, M., Chao, H. J.: Load balancing for multiple traffic matrices using SDN hybrid routing. In: *IEEE 15th International Conference on High Performance Switching and Routing, HPSR 2014*, pp. 44–49 (2014). <https://doi.org/10.1109/HPSR.2014.6900880>
- [27]. Wang, R., Butnariu, D., Rexford, J.: OpenFlow-based server load balancing gone wild. In: *11th USENIX Conference on Hot Topics in Management of Internet, Cloud, and Enterprise Networks and Services, Hot-ICE'11* (2011). https://www.usenix.org/legacy/events/hotic11/tech/full_papers/Wang_Richa rd.pdf. Accessed 30 Mar 2021
- [28]. Koerner, M., Kao, O.: Multiple service load-balancing with OpenFlow. In: *IEEE 13th International Conference on High Performance Switching and Routing* (2012) pp. 210–214. <https://doi.org/10.1109/HPSR.2012.6260852>
- [29]. Ukrist, S., Pradittasnee, L., Kitsuwat, N.: Resolving load imbalance state for SDN by minimizing maximum load of controllers. *J. Netw. Syst. Manage.* 29(4), 1–28 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10922-021-09612-w>
- [30]. Guo, Y., Wang, Z., Yin, X., Shi, X., and Wu, J.: Traffic engineering in SDN/OSPF hybrid network. In: *International Conference on Network Protocols, 2014*, pp. 563–568, <https://doi.org/10.1109/ICNP.2014.90>
- [31]. Ren, C., Wang, S., Ren, J., Wang, X., Song, T., Zhang, D.: Enhancing traffic engineering performance and flow manageability in hybrid SDN. In: *IEEE Global Communication Conference, IEEE GLOBECOM 2016*, pp. 1–7, <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2016.7841819>
- [32]. Lin, C., Wang, K., Deng, G.: A QoS-aware routing in SDN hybrid networks. *Procedia Comput. Sci.* 110, 242–249 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.091>
- [33]. Li, Y.; Huang, J.; Sun, Q.; Sun, T.; Wang, S. Cognitive Service Architecture for 6G Core Network. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2021, 17, 7193–7203. [CrossRef]
- [34]. Kaloxylou, A. A Survey and an Analysis of Network Slicing in 5G Networks. *IEEE Commun. Stand. Mag.* 2018, 2, 60–65. [CrossRef]
- [35]. Agyapong, P.; Iwamura, M.; Staehle, D.; Kiess, W.; Benjebbour, A. Design considerations for a 5G network architecture. *IEEE Commun. Mag.* 2014, 52, 65–75. [CrossRef]
- [36]. Akyildiz, I.F.; Kak, A.; Nie, S. 6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems. *IEEE Access* 2020, 8, 133995–134030. [CrossRef]
- [37]. Sonkoly, B.; Gulyás, A.; Németh, F.; Czentye, J.; Kurucz, K.; Novák, B.; Vaszkun, G. On QoS Support to OpenFlow. In *Proceedings of the European Workshop on Software Defined Networking, Darmstadt, Germany, 25–26 October 2012*; pp. 109–113.

- [38]. Bari, M.F.; Chowdhury, S.R.; Ahmed, R.; Boutaba, R. PolicyCop: An Autonomic QoS Policy Enforcement Framework for Software Defined Networks. In Proceedings of the SDN4FNS, Trento, Italy, 11–13 November 2013; pp. 1–7.
- [39]. Bueno, I.; Aznar, J.I.; Escalona, E.; Ferrer, J.; Garcia-Espin, J.A. An OpenNaaS based SDN framework for dynamic QoS control. In Proceedings of the SDN4FNS, Trento, Italy, 11–13 November 2013; pp. 1–7.
- [40]. Khan, S.; Hussain, F.K.; Hussain, O.K. Guaranteeing end-to-end QoS provisioning in SOA based SDN architecture: A survey and Open Issues. *Future Gener. Comput. Syst.* 2021, 119, 176–187. [CrossRef]
- [41]. Palma, D.; Gonçalves, J.; Sousa, B.; Cordeiro, L.; Simoes, P.; Sharma, S.; Staessens, D. The QueuePusher: Enabling Queue Management in OpenFlow. In Proceedings of the Third European Workshop on Software Defined Networks, Budapest, Hungary, 1–3 September 2014; pp. 125–126

Избор литературе је одговарајући?

ДА

НЕ

ДЕЛИМИЧНО

III.4 циљева истраживања

У дефинисању циљева истраживања, пошло се од чињенице да традиционални алгоритми користе само једноставне метрике. Они не узимају у обзир заузетост ресурса на инфраструктурним уређајима као што су нпр. сервери, те у пракси не дају жељене резултате. Зато је окосница овог истраживања примена SDN технологије како би се изградило програмабилније мрежно окружење за балансирање оптерећења. Такво решење подразумева коришћење постојећих механизма традиционалне мреже, као што је SNMP механизам за прикупљање информација о заузетости серверских ресурса у реалном времену. Добијене информације биле би коришћене кроз имплементацију композитне метрике, што све заједно треба да омогући уравнотежено распоређивање појединачних веза. Дакле, идеја је да се употребом SNMP механизма максимално искористе постојећа решења за надгледање ресурса, како би се у даљем истраживању применом композитне метрике дошло до напреднијег решења за динамичко балансирање саобраћаја. Ову метрику чине: проценат оптерећености процесора, број приступа диску при читању са диска, број приступа диску при писању на диск, количина послатих података и количина примљених података

Да би се извршила валидација нове шеме динамичког балансирања саобраћаја, неопходно је имплементирати адекватно *testbed* окружење и спровести тестирање. С тим у вези, биће сагледана могућа примена новог механизма балансирања на примеру сервера база података. Наиме, постојање широког спектра различитих упита има значајан утицај на степен (величину) ангажованости појединих хардверских ресурса, зависно од врсте упита. Као пример могу послужити упити који:

- Захтевају филтрирање или тражење неструктурираних података (као што су string реченице), чиме се значајно оптерећују CPU и RAM ресурси, али троше мање мрежни ресурси или захтевају мањи број приступа диску приликом читања и писања на њега.
- Траже податке из различитих табела са много записа, па се у том случају ресурси за читање и писање на складиште података користе више од ресурса процесора и мреже,
- Налажу слање целокупне базе података и тиме првенствено оптерећују мрежне ресурсе.

У оквиру истраживања, постављени су следећи циљеви:

- Пројектовање и реализација хибридне мрежне инфраструктуре, засноване на делимичној примени SDN технологије, са циљем да се омогући флексибилна реализација сервиса и ефикасна расподела оптерећења на серверским ресурсима и мрежним линковима.
- Повећање ефикасности, поузданости, скалабилности и безбедности у делу мрежне инфраструктуре, коришћењем софтверски дефинисаних мрежа.
- Повећање степена доступности сервера база података изградњом поуздане и скалабилне мрежне инфраструктуре.
- Смањење комплексности реализације инфраструктурних и других сервиса применом хибридне SDN инфраструктуре.
- Пројектовање и реализација хибридне SDN мрежне инфраструктуре, која захтева мање капиталне и оперативне трошкове.
- Развој модела за евалуацију мрежне инфраструктуре засноване на хибридном SDN

мрежама.

- Развој модела мрежне инфраструктуре, који се једноставно може мигрирати у друга окружења.
- Развој програмског решења за управљање саобраћајем у SDN делу хибридне мреже.
- Развој програмског решења за прикупљање и освежавање података о заузетости физичких ресурса сервер машина.

Крајњи циљ докторске дисертације треба да буде ефикасан, али и економски прагматичан модел, имплементације SDN функционалности у традиционалним рачунарским мрежама, кроз организацију флексибилног, скалабилног, али и веома еластичног окружења, у коме се лако може имплементирати нова шема балансирања оптерећења заснована на вишепараметарској тј. композитној метрици.

Циљеви истраживања су одговарајући? ДА НЕ ДЕЛИМИЧНО

III.5 очекиваних резултата (хипотезе)

Најважнији допринос ове докторске дисертације јесте дефинисање методологије којом би се применом минимално инвазивног концепта, тј. имплементацијом минималног броја SDN компоненти, изградило програмабилно мрежно оруђе у традиционалним рачунарским мрежама. Такво окружење треба да омогући ефикасније управљање саобраћајем, али и примену нових метода којима би се уравнотежила расподела оптерећења на мрежним ресурсима. Следећи значајан допринос овог истраживања је управо развој механизма којим би се ефикасније балансирало оптерећење на серверима, и то не само у односу на традиционалне методе балансирања оптерећења (*Round Robin*, *Weighted Round Robin*, *Least Connection*, *Weighted Response Time* и друго), већ и у односу на до сада реализоване механизме балансирања оптерећења у SDN мрежама као што је LBBSRT модел (eng. *Load Balancing by Server Response Time*).

За разлику од свих досадашњих метода, нова шема балансирања оптерећења биће заснована на вишепараметарској односно композитној метрици. Имајући у виду комплексност овог метода, који ће се базирати на аналитичком приступу захтевима различитих сервиса, као и примени постојећих механизма који омогућавају квалитетат мониторинг оптерећења мрежних ресурса, очекују се бољи резултате, у односу на оне који се добијају применом традиционалних метода или LBBSRT модела балансирања оптерећења. Да би се извршила валидација добијених резултата, потребно је развити одговарајуће *testbed* окружење у којем је могуће применити различите механизме и извршити верификацију добијених резултата, што све заједно представља још један важан допринос.

Остали резултати, односно научни доприноси који се очекују су:

- Идентификација и систематизација свих метода примене SDN функционалности у циљу реализације хибридне мрежне инфраструктуре;
- Имплементација концепта инкременталне примене SDN функционалности у традиционалној мрежној инфраструктури, коришћењем EVE-NG платформе;
- Имплементација новог механизма за балансирање оптерећења ширењем нових SDN функционалности на POX контролеру;
- Упоредна анализа резултата добијених имплементацијом постојећих алгорита за балансирање оптерећења са резултатима добијеним имплементацијом алгорита заснованог на композитној метрици у хибридној SDN мрежи;
- Презентација статистичких података коју потврђују ефикасније балансирање оптерећења применом композитне метрике у односу на постојеће методе балансирања оптерећења.

Следећи, веома важан допринос који се очекује, односи се на проверу могућности имплементације ових решења у емулираном окружењу *core* сегмента будућих 5G/6G мрежа. Овде се очекује и додатан допринос, односно да се настави даље у погледу стварања још програмабилнијег окружења. Промене које ће бити извршене на самим свичевима, али и на контролеру, треба да покажу да је кроз динамичко управљање редовима могуће утицати на квалитет сервиса динамички. За разлику од постојећих модела, који су се заснивали на унапред дефинисаном броју,

величини и приоритету редова, применом новог метода биће омогућене динамичке промене ових параметара и то у складу са захтевима за управљање сервисима, који би били дефинисани на слоју апликације.

Очекивани резултати представљају значајан научни допринос? ДА НЕ ДЕЛИМИЧНО

III.6 плана рада (на основу фаза истраживања и оријентационог садржаја дисертације из Обрасца 1)

На основу планираних активности за реализацију ове докторске дисертације истраживање ће бити спроведено кроз неколико фаза:

- У првој фази ће се детаљно анализирати могућности традиционалне мрежне архитектуре са хијерархијском организацијом (предности и недостаци) у погледу реализације сервиса заснованих на напредним ICT технологијама;
- У складу са расположивом литературом, у другој фази истраживања биће урађена анализа постојећих модела примене SDN функционалности у рачунарским мрежама и предложен нов, минимално инвазиван метод примене, који би се базирао на коришћењу минималног броја SDN компоненти.
- Трећа фаза истраживања подразумева да се уради детаљна анализа кључних индикатора перформанси серверске инфраструктуре и систематизују потребе за појединим ресурсима сервера од стране различитих група сервиса;
- У четвртој фази истраживања биће развијен математички модел новог, LBORU (енгл. *Load Balancing by Optimizing Resource Utilization*) механизма за расподелу оптерећења на серверима у хибридној SDN мрежи, која би се заснивала на композитној метрици;
- Дизајн и имплементација *testbed* окружења коришћењем EVE-NG платформе за емулацију виртуализованих серверских и мрежних ресурса, којим би се креирало окружење са одговарајућим условима сличним реалном окружењу су предвиђени петом фазом истраживања;
- Дефинисање методологије тестирања и спровођење самог процеса тестирања део су шесте фазе истраживања;
- Евалуација и упоредна анализа добијених резултата са резултатима добијеним применом постојећих решења, као и дискусија биће спроведени у седмој фази истраживања;
- У осмој фази тестирања биће урађена детаљна анализа постојећих решења у погледу управљања редовима на свичевима и предложен нов динамички модел;
- У последњој фази истраживања, нов механизам за динамичко управљање квалитетом сервиса биће реализован применом одговарајуће QoS политике на апликационом слоју, интеграцијом са SDN (POX) контролером и динамичким управљањем редовима на SDN свичу. У овој фази биће детаљно анализирани добијени резултати, указано на предности, евентуалне недостатке примене динамичког управљања редовима и, што је најважније, указано на могућности/предности примене у будућим 5G/6G мрежама.

План рада је одговарајући? ДА НЕ ДЕЛИМИЧНО

III.7 метод и узорак истраживања

Да би се правилно оценила вредност овог истраживања потребно је обезбедити односно емулирати окружење које би што приближније одговарало условима и реалној мрежи. Дакле, неопходно је створити улове за постизање валидних резултата тестирања предложене шеме за балансирање оптерећења у хибридној SDN мрежи. Узимајући у обзир глобални пораст интернет сервиса, на веб серверима тестирана је ефикасност балансирања оптерећења нове шеме. Цео механизам је тестиран у емулираном окружењу, са виртуелним машинама као клијентима, веб серверима и SDN компонентама (SDN контролер и SDN свич). Да би се постигли поуздани резултати, тестирање је обављано у контролисаним условима. Постепено је повећаван број конкурентних корисника како би се максимизовало оптерећење на веб серверима и проверила ефикасност неколико различитих механизма за балансирање оптерећења, укључујући предложени LBORU метод.

Да би се спровело тестирање, потребно је развити одговарајући алат за тестирање који би слао захтеве намењене веб серверима. Овај алат мора да поседује две компоненте:

- Компонента посла – успоставља везу са веб сервером, извршава трансакцију једног захтева

и извештава о времену потребном за њен завршетак. Процедура ове компоненте извршава се у бесконачној петљи, како би се симулирао један конкурентни корисник који стално обавља трансакцију;

- Компонента конкуренције – повећава број истовремених корисника у контролисаним условима, записује време одзива сваке трансакције, и обавља статистичке рачунске операције.

Док компонента посла шаље захтеве веб серверима, компонента конкуренције би требала да прикупља параметре тестирања као што су:

- Број конкурентних веза;
- Просечно време потребно за обављање једног захтева;
- Број завршених трансакција у секунди.

Метод и узорак су одговарајући? ДА НЕ ДЕЛИМИЧНО

III.8 места, лабораторије и опреме за истраживачки рад

Део истраживања који укључује развој, имплементацију алгорита и тестирање биће спроведено у лабораторијама Факултета техничких наука у Новом Саду. За потребе креирања тестног окружења са виртуелним серверима и другим мрежним ресурсима биће коришћена платформа EVE-NG за емулирање виртуализоване мрежне инфраструктуре, POX SDN контролер, Open vSwitch и web сервери.

Услови за истраживачки рад су одговарајући? ДА НЕ ДЕЛИМИЧНО

III.9 методи статистичке обраде података и осталих релевантних података

Теоријски део истраживања реализоваће се прикупљањем и анализом литературе еминентних стручњака из области која је предмет истраживања. За преглед научне области користиће се Cobson услуге, IEEE и EBSCO базе података.

Током израде овог рада као општи научни методи користиће се прикупљање и анализа научних резултата, моделовање, аналитичко-дедуктивни и статистички методи. Моделовање се користи у развоју модела SDN дела хибридне мреже на Cloud-у. Аналитичко-дедуктивни методи користиће се за анализу података добијених тестирањем постојећих решења за балансирање оптерећења на серверима, као и тестирање решења предложеног у овом раду. Мерење релевантних параметара и анализа добијених резултата вршиће се помоћу стандардних статистичких метода.

У експерименталном делу вредноваће се развијени модела SDN мрежне инфраструктуре. Концепт софтверски дефинисаних мрежа које користе *OpenFlow* модел комуникације биће интегрисан у инфраструктуру. Вредновање ће се спровести са техничко-технолошког, али и образовног аспекта. Добијени резултати експеримента требало би да потврде главну хипотезу о побољшању квалитета и ефикасности балансирања оптерећења у хибридним SDN мрежама.

Резултати истраживања биће представљени текстуално, описани и представљени кроз више табела, слика и дијаграма са упоредном анализом. Истраживање ће бити интердисциплинарно, јер укључује научне дисциплине: методологију, рачунарство, информатику, статистику и друге.

Предложени методи су одговарајући? ДА НЕ ДЕЛИМИЧНО

IV ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ КАНДИДАТА

Услови дефинисани за кандидата студијским програмом:

На основу чланова 65 и 100 Закона о високом образовању ("Сл. гласник РС" бр. 88/2017, 73/2018-др.закон, 67/2019 и 6/2020-др. Закони, 11/2021-аутентично тумачење и 67/2021), чланова 63 и 151 до 158 Статута Факултета техничких наука у Новом Саду од 1.7.2018., 17.10.2018 и 28.12.2018. године (Пречишћен текст од 28.12.2018. године) као и „Правилника о упису, студирању на докторским академским студијама и стицању звања доктора наука, односно доктора уметности“

(Број 01-195/11-1 од 7.10.2021. године) Факултета техничких наука, право да пријави тему докторске дисертације стиче студент који је положио све испите одређене студијским програмом и који је одбранио Теоријске основе докторске дисертације.

Образложење:

Кандидат Теодор Малбашић је успешно савладао градиво које је предвиђено планом и програмом за докторске студије. Положио је све испите предвиђене планом и програмом с просечном оценом 10 и успешно одбранио Теоријске основе докторске дисертације (квалификациони испит). Кандидат је коаутор 2 научна рада, оба повезана с темом дисертације. Учесник је комерцијалних пројеката у привреди, кроз које припрема и низ техничких решења. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације представљају део истраживања на пројектима:

- European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement number 856967,
- H2020 European Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement number 10101649

Да ли кандидат испуњава дефинисане услове?

ДА

НЕ

V ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ ПРЕДЛОЖЕНОГ МЕНТОРА

V.1 Биографија ментора (до 500 речи):

Проф. др Живко Бојовић рођен је 1967. године у Пећи, где је завршио основну и средњу школу. Електротехнички факултет у Приштини, смер електроника са телекомуникацијама, завршио је 1992. године. Испите на постдипломским студијама положио је на Електротехничком факултету у Београду 2000. године, а магистарску тезу: „Припрема и обрада говорних база намењених аутоматском препознавању и синтези говора на српском језику“ успешно је одбранио на Факултету Техничких наука у Новом Саду 2001. године. Докторску дисертацију: “Тестирање квалитета сервиса у живој ИП МПЛС мрежи“ одбранио је 2011. године на Факултету техничких наука у Новом Саду. У периоду од 1992. године до 1994. године радио је као главни организатор информационог система БК групе. Од јануара 1995. године до децембра 2014. године радио је као инжењер и руководиоца у предузећу за телекомуникације „Телеком Србија“ а.д. За доцента на ФТН-у, на катедри за телекомуникације и обраду сигнала изабран је јануара 2015. године, док је за ванредног професора изабран јануара 2020. године.

Члан је IEEE Computer Society, ICONIC центра и Инжењерске коморе Србије, а поседује и следеће лиценце:

- Одговорни извођач радова телекомуникационих мрежа и система, број лиценце 453 4756 04;
- Одговорни пројектант телекомуникационих мрежа и система, број лиценце 353 8720 04.

Поред 12 радова објављених у часописима на SCI листи и великог броја радова саопштених на конференцијама од научног и међународног значаја, Живко Бојовић је коаутор следећих уџбеника и практикума:

1. Живко Бојовић, Јелена Шух, Петар Бојовић: “Софтверске технологије у рачунарским мрежама са великим подацима, Универзитет у Новом Саду, 2021, ISBN: 978-86-6022-345-8
2. Јелена Шух, Живко Бојовић, Петар Бојовић: “Софтверске технологије у телекомуникационим системима, Универзитет у Новом Саду, 2020, ISBN: 978-86-499-0241-1
3. Дејан Вукобратовић, Гордана Гардашевић, Драгана Бајовић, Живко Бојовић: “Бежичне сензорске мреже у IoT апликацијама, Универзитет у Новом Саду, 2020, ISBN: 978-86-6022-256-7

4. Живко Бојовић, Дејан Вукобратовић, Јелена Шух: “Рачунарске мреже засноване на Интернет протоколу”, Универзитет у Новом Саду, 2018, ISBN: 978-86-6022-045-7
5. Божић Раденковић, Маријана Деспотовић-Зракић, Зорица Богдановић, Душан Бараћ, Александра Лабус, Живко Бојовић: “Internet of Things”, Универзитет у Београду, 2017, ISBN: 978-86-7680-339-2
6. Живко Бојовић, Дејан Вукобратовић, Јелена Шух: “Рачунарске мреже засноване на Интернет протоколу”, Практикум за лабораторијске вежбе, Универзитет у Новом Саду, 2018, ISBN: 978-86-7892-923-6.

Осим рада на рецензији у међународним часописима са SCI листе, Живко Бојовић је и члан уређивачких одбора следећих међународних часописа:

- Inventi Rapid - Software Engineering (http://inventi.in/journal/editorial_board/rapid/105/software-engineering)
- American Journal of Computer Science and Technology (<http://www.ajcst.org/editorialboard?editorialboardtypeid=5>).

Живко Бојовић поседује патент (П-2016/0585) и активан је учесник на међународним пројектима:

- European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement number 856967,
- H2020 European Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement number 10101649.

Области научног интересовања Живка Бојовића су:

- Рачунарске мреже,
- *Internet of Things*,
- Софтверски дефинисане мреже,
- *Cloud computing*,
- *Big data* технологија.

V.2 Референце ментора из научне области којој припада тема докторске дисертације:

Р. бр.	аутори, наслов, <i>часопис</i> , волумен (година) број страница од-до, DOI или ISBN/ISSN	категиорија
1.	Malbasic T., Bojovic P.D, Bojović Z. , Suh J. and Vujosević D, <i>Hybrid SDN Networks: A multi-parameter server load balancing scheme</i> , Journal of Network and Systems Management (2022), Vol 30, No 2, pp. 1-28, ISSN: 1064-7570 (IF(2020)= 2.026) https://doi.org/10.1007/s10922-022-09642-y	M23
2.	Bojovic, P.D., Malbasic, T., Vujosevic, D. Martic, G., Bojovic, Z. , <i>Dynamic QoS Management for a Flexible 5G/6G Network Core: A Step toward a Higher Programmability</i> . Sensors (2022), Vol. 22, Iss. 8, 2849. ISSN: 1424-8220, (IF(2020)= 3.576), https://doi.org/10.3390/s22082849	M22
3.	Bojovic Z. , Bojovic Petar D, Vujosevic Dusan, Suh Jelena, <i>Education in times of crisis: Rapid transition to distance learning</i> , Computer applications in engineering education (2020), Vol. 28 Iss. 6, pp. 1467-1489, ISSN: 1061-3773, (IF(2020)= 1.532), DOI: 10.1002/cae.22318	M23
4.	Bojovic P. D, Bojovic Z. , Bajic D., Senk V., <i>IP Session Continuity in Heterogeneous Mobile Networks Using Software Defined Networking</i> , Journal of communications and networks, (2017), Vol. 19, Iss.. 6, pp. 563-568, ISSN: 1229-2370, (IF (2017)= 1.252), DOI: 10.1109/JCN.2017.000096	M23
5.	Suh J., Bojovic Z. , Despotovic-Zrakic M., Bogdanovic Z., Labus A., <i>Designing a course and infrastructure for teaching software-defined networking</i> , Computer applications in engineering education (2017), Vol. 25 Iss. 4, pp. 554-567, ISSN: 1061-3773, (IF(2017)= 1.153), https://doi.org/10.1002/cae.21820	M23
6.	Bojovic Z., Klipa D., Secerov E., Senk V., <i>Smart Government - from Information to Smart Society</i> , Journal of the institute of telecommunications professionals	M23

	(2017), Vol. 11, pp. 34-39, ISSN: 1755-9278 (IF(2017)= 0.229)	
7.	Milutinovic M., Bojovic Z. , Labus, A. Bogdanovic, Z. and Despotovic-Zrakic, M., <i>Ontology-based generated leaning objects for mobile language leaning</i> , ComSIS journal (2016), Vol. 13, Iss. 2, pp. 493-514, ISSN: 1820-0214 (IF(2016)= 0.837), https://doi.org/10.2298/CSIS141030004M	M23
8.	Ninkovic N., Bojovic Z. and Gajin, S.: <i>Novel Scheme for Dynamic Triggering of Packet Dispersion</i> , ELEKTRONIKA IR ELEKTROTEHNIKA (2014), Vol. 20, Iss. 5, pp. 162-169, ISSN 1392 – 1215, (IF(2014)= 0.561), https://doi.org/10.5755/j01.eee.20.5.5429	M23

V.3 Услови дефинисани за ментора у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* за област којој припада докторска дисертација:

На основу члана 40 став 7 Закона о високом образовању („Сл. гласник РС” број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон, 67/2019, 6/2020 - др. закони и 11/2021- аутентично тумачење), члана 67 став 1 тачка 6 и члана 106 став 3 Статута Универзитета у Новом Саду (Савет Универзитета број 01-226/1 од 29. септембра 2020. године), као и члана 7 и 8 „Правила докторских студија Универзитета у Новом Саду“ (Број: 01-134/3 од 25. фебруара 2021. године).

(1) За ментора за израду докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта (у даљем тексту: ментор) може бити именован наставник Универзитета, односно факултета који је у радном односу на факултету који реализује студијски програм докторских студија, као и наставник који је у радном односу на другом универзитету, односно факултету или научној установи, а који има потребну научну, односно уметничку способност из области теме докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

(2) Лице изабрано у научно звање на начин и по поступку прописаним законом којим је регулисана научноистраживачка делатност (у даљем тексту: научни радник), поред права да учествује у извођењу свих облика наставе на докторским академским студијама, да буде члан комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора за израду докторске дисертације и члан комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, може бити и ментор за израду докторске дисертације.

(3) За израду докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта могу бити именована два ментора из реда наставника или научних радника, под условом да испуњавају услове за менторство.

(4) Ментор мора имати референце из научне, односно уметничке области којој припада тема докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта и испуњавати друге услове из Стандарда. Ментор мора да испуњава следеће допунске критеријуме у оквиру образовно-научног, односно образовно-уметничког поља: За поље техничко-технолошких наука ментор мора имати најмање пет радова објављених у претходних десет година у часописима са импакт фактором са SCI листе, односно SCIE листе.

Образложење:

Др Живко Бојовић је запослен на Факултету техничких наука, на Универзитету у Новом Саду, изводи наставу на студијском програму докторских студија на који је уписан кандидат, и у последњих 10 година има 8 научних радова објављених у научним часописима из области студијског програма којој припада тема докторске дисертације.

Да ли ментор испуњава услове?

ДА

НЕ

VI ЗАКЉУЧАК

Тема је подобна

ДА

НЕ

ДЕЛИМИЧНО

Кандидат је подобан	<u>ДА</u>	НЕ
Ментор је подобан	<u>ДА</u>	НЕ

Образложење о подобности теме, кандидата и ментора (до 500 речи):

Комисија је проучила достављену пријаву кандидата, проценила значај референци (у вези са темом истраживања) како предложеног ментора, тако и кандидата, као и досадашњи ангажман и резултате предложеног ментора и кандидата. На основу свих изнетих чињеница комисија закључује следеће:

- Теодор Малбашић испуњава све законске услове, те је подобан да приступи изради докторске дисертације;
- Проф. др Живко Бојовић поседује висок степен стручних и научних компетенција из области студијског програма којој припада предложена тема докторске дисертације, те је подобан да као ментор руководи њеном изработом;
- Предложена тема докторске дисертације је актуелна и интердисциплинарна. Њени резултати ће у значајној мери унапредити могућности расподеле оптерећења на ресурсима који чине инфраструктуру мрежа, пре свега примењујући нову шему балансирања оптерећења, али и метрику саобраћаја.

На основу наведеног комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука и Сенату Универзитета у Новом Саду да кандидату Теодору Малбашићу одобри израду докторске дисертације са наведеним насловом и да се за ментора именује Проф. др Живко Бојовић.

Место и датум:

1. Др Војин Шенк, редовни професор
_____, председник

2. Др Дејан Вукобратовић, редовни професор
_____, члан

3. Др Владо Делић, редовни професор
_____, члан

4. Др Жељен Трповски, редовни професор
_____, члан

5. Др Младен Копривица, доцент
_____, члан

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.