

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милана Симаковића

Одлуком бр. 5011/15-3 од 26.09.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Милана Симаковића под насловом

Систем за надгледање перформанси мреже кабловског оператора заснован на технологији великих података

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

Милан Симаковић је школске године 2015/2016 уписао докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду - модул Телекомуникације. Положио је све испите на докторским студијама са просечном оценом 9,90.

Дана 29.12.2021. године, кандидат је пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Систем за надгледање перформанси мреже кабловског оператора заснован на технологији великих података“.

На седници одржаној 11.01.2022. 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. 5011/15-1 од 31.01.2022. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

- др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Ненад Јевтић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
- др Милош Цветановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

За менторе докторске дисертације су предложени др Зоран Чича, ванредни професор и др Дејан Драјић, ванредни професор.

Дана 21.02.2022. године, кандидат је имао јавну усмену одбрану теме докторске дисертације пред изабраном Комисијом. Комисија је дала оцену „задовољно“.

Одлуком бр. 5011/15-2 од 15.03.2022. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

На седници одржаној 12.04.2022. године, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (одлука бр. 61206-1501/2-22).

Дана 29.08.2022. године, кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену под насловом „Систем за надгледање перформанси мреже кабловског оператора заснован на технологији великих података“.

На седници одржаној 06.09.2022. 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. 5011/15-3 од 26.09.2022. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу:

- др Зоран Чича, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Дејан Драјић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Ненад Јевтић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
- др Милош Цветановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Систем за надгледање перформанси мреже кабловског оператора заснован на технологији великих података“ кандидата Милана Симаковића припада научној области Електротехника и рачунарство, ужа научна област Телекомуникације, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментори докторске дисертације су др Зоран Чича, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду и др Дејан Драјић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милан Симаковић је рођен 3.11.1990. у Јеревану, Република Јерменија. Основну школу „Ђорђе Јовановић“ завршио је у Селевцу, а средњу машинско-електротехничку школу „Гоша“ завршио је у Смедеревској Паланци, обе са одличним успехом. Електротехнички факултет у Београду је уписао 2009. године на којем је и дипломирао 2013. године на модулу

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 и рада на дисертацији су биле биг дата технологије и примена истих у телекомуникацијама, односно у телекомуникационим мрежама. Као резултат рада на овим истраживањима, објавио је више радова међу којима и два рада у међународним часописима са JCR листе.

Милан Симаковић је од 2020. године запослен у компанији „Grid Dynamics“, на позицији старијег биг дата инжењера. У оквиру ове позиције радио је на развоју система за складиштење и обраду података и на имплементацији истих за клијенте из региона Северне Америке и Европе. Поред развоја система, активно је учествовао и у креирању послова за прикупљање, складиштење и обраду података и послова припреме истих за извештавање и процесе машинског учења. Додатно, у циљу праћења кретања тржишта и биг дата технологија, активно учествује у истраживањима компаније на овом пољу.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација, писана ћирилицом, обухвата 117 страна са 32 слике, 13 табела и 158 референци. Од тога, главни део дисертације, који укључује поглавља 1-9 и списак коришћене литературе, обухвата 100 страна.

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, девет поглавља (1. Увод, 2. Технологија великих података, 3. Надгледање перформанси у мрежама, 4. NFC мреже, 5. Архитектура система за надгледање перформанси мреже, 6. Детекција и локализација отказа у NFC мрежама, 7. Додатне могућности ПНПМБД, 8. Будући правци развоја, 9. 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

Прво поглавље представља кратак увод у област којом се бави дисертација. Представљен је значај интернет технологија у данашње време, а представљене су укратко и популарне технологије које обезбеђују корисницима приступ интернету са нагласком на NFC (*Hybrid Fiber-Coaxial*) технологију. Потом је истакнут значај надгледања рада и перформанси мрежа телекомуникационих оператора. Наведена је могућност прикупљања великих количина података из мреже. Прикупљени подаци могу да се користе и за потребе надгледања уз нагласак да су услед огромне количине података неопходни нови приступи у прикупљању, складиштењу и обради података, односно неопходна је употреба технологије великих података. Потом су укратко изложени основни доприноси и резултати саме дисертације који су изложени у наредним поглављима. На крају је дат преглед остатка дисертације по поглављима.

У другом поглављу су изложене основе технологије великих података пошто ова технологија представља једну од главних окосница саме дисертације и њених доприноса. Прво је изложена потреба за технологијом великих података, као и кратак историјат појма великих података. Потом је представљен и објашњен 5V концепт који покрива пет главних

карактеристика великих података: *Volume* (волумен), *Variety* (разноврсност), *Velocity* (брзину), *Veracity* (поверење) и *Value* (вредност). Свака од наведених пет карактеристика је објашњена уз приказ кратких примера који практично илуструју на које тачно аспекте се односе дотичне карактеристике. Затим су представљени и објашњени најзначајнији и најпознатији алати и компоненте који се користе у оквиру технологије великих података попут: HDFS, MapReduce, YARN, Spark, HBase, OpenTSDB, Zookeeper. Након описа алата који се користе у технологији великих података, објашњен је значај и могућности коришћења облак (*cloud*) технологија. Додатно, описана су и три сервисна модела за коришћење облак технологија: IaaS (*Infrastructure as a Service*), PaaS (*Platform as a Service*) и SaaS (*Software as a Service*). Такође, описане су и варијанте имплементације облака: приватни, јавни и хибридни. Затим су изложене актуелне примене технологије великих података где су наведене и области у којима се ова технологија већ користи попут информационих технологија, телекомуникације, банкарског сектора, продаје, интернета ствари (*Internet of Things* - IoT), здравства, анализе социјалних медија и др. Наведене су и адекватне референце које поткрепљују дату листу области у којима се технологија великих података користи. На крају поглавља су изложени тренутни изазови у технологији великих података попут проблема квалитета података, приступа у извлачењу корисних информација, повећања потрошње енергије и др.

Треће поглавље се бави проблемом и потребом за надгледањем перформанси у телекомуникационим мрежама, као и прегледом литературе из ове области. На почетку је истакнут значај телекомуникација, и важност обезбеђивања високе доступности корисницима имајући у обзир велику бројност корисника и значај телекомуникационих услуга и сервиса у модерном друштву. Дати су и примери како телекомуникационе мреже често еволуирају из своје првобитне намене што захтева и еволуцију система за надгледање мреже и њених перформанси. Наглашен је и аспект конкурентности телекомуникационих оператора на тржишту који приморава оперatore да обезбеде висок квалитет сервиса и високу доступност својим корисницима, а за шта је неопходан квалитетан систем за надгледање перформанси мреже. Наведени су и примери како се адекватно могу искористити системи за надгледање перформанси мреже попут ефикасне и брзе детекције и локализације кварова у мрежи, планирања будућих проширења мреже, предвиђања уских грла у мрежи и др. Затим је дат преглед литературе у области надгледања телекомуникационих мрежа. Највећи број радова се бави мобилним мрежама што је очекивано имајући у виду број корисника ових мрежа и њихову популарност. Такође су представљени и радови који се баве HFC мрежама. Прегледом релевантне литературе је уочено да се веома мали број радова бави свеукупним решењем надгледања перформанси мреже, односно комплетним системом за надгледање перформанси мреже, а што је главни предмет ове дисертације. Последњи део поглавља истиче доприносе дисертације којима се попуњавају постојеће празнине у актуелној литератури из области надгледања телекомуникационих мрежа.

Пошто је систем за надгледање перформанси мреже, предложен у дисертацији, развијен за HFC мреже, четврто поглавље је намењено да пружи основне информације о HFC мрежама. Дат је кратак преглед развоја HFC мрежа почев од кабловске телевизије. Потом је изложена типична архитектура једне HFC мреже и описани су основни уређаји који је сачињавају: CMTS и CPE уређаји, оптички чворови, појачавачи, приступне тачке. Описан је ток података кроз мрежу у низводном и узводном смеру. Такође је наведена подела уређаја на интелигентне и неинтелигентне са становишта могућности прикупљања података са њих. Дат је преглед развоја стандарда за HFC мреже кроз навођење верзија DOCSIS стандарда уз навођење која унапређења је уводила свака од верзија. У засебном потглављу је дат преглед изазова у надгледању перформанси HFC мреже. Изазови су дати и анализирани из перспективе 5V концепта, при чему је свака од карактеристика 5V концепта анализирана засебно са адекватним примерима који илуструју одговарајуће изазове. Наведени преглед

изазова је послужио као почетна тачка у развоју система за надгледање перформанси NFC мреже, а који је описан у наредном, петом, поглављу.

Пето поглавље представља централно поглавље дисертације у ком је изложен главни предмет и допринос дисертације - систем за надгледање перформанси NFC мреже. Систем је реализован у виду биг дата платформе, па је одмах на почетку уведена скраћеница за предложену и реализовану платформу - ПНПМБД (Платформа за Надгледање Перформанси Мреже заснована на Биг Дата технологији). У оквиру тезе је введен појам биг дата као уобичајен појам који се у пракси користи за велике податке, па се отуда у датом називу предложеног система тј. платформе користио термин биг дата. Обзиром на детаљност описа предложеног ПНПМБД-а као и значај самог поглавља, пето поглавље је уједно и најдуже поглавље у тези које сачињава неколико потпоглавља и одељака посвећених различитим аспектима реализованог система. У првом потпоглављу су изложени циљеви које ПНПМБД мора да испуни. Циљеви су дефинисани узимајући у обзир и изазове наведене у четвртом поглављу. Потом је у другом потпоглављу детаљно описана архитектура комплетног ПНПМБД-а, као и све најбитније компоненте. Из тог разлога друго потпоглавље садржи пет одељака чиме је постигнута боља прегледност и разумљивост описа и рада ПНПМБД-а. На почетку је изложена архитектура комплетног система са описом појединих делова, као и тока података кроз реализовани систем. Дата је и табела метрика перформанси које се прикупљају заједно са периодом прикупљања за сваку метрику понаособ, као и опис хардвера који се користио за имплементацију. Потом су у одељцима дати описи најбитнијих делова и аспеката предложеног ПНПМБД-а. У првом одељку су описане метрике коришћене за надгледање перформанси NFC мреже. Дефинисани су домени метрика, и размотрене су метрике које се прикупљају са интелигентних уређаја (CMTS и CPE). У другом одељку је описана шема података која се користи у ПНПМБД. Показано је како се употребом одговарајућих тагова могу раздвојити временске серије података са различитих извора. Показане су и могућности филтрирања и груписања временских серија података. Један од најбитнијих делова овог одељка представља и нову шему података која значајно побољшава, односно скраћује време упита. У трећем одељку је описана реализација колектора података (дата колектора). Представљене су различите могућности прикупљања података, а онда је наведена која од могућности се заиста и користи. Изабран је SNMP протокол из разлога што тај протокол подржавају сви интелигентни уређаји у мрежи, а наведено је и да ће у будућности бити додата подршка и за друге методе прикупљања. Затим је представљена архитектура колектора података, као и његов начин рада. Описан је комплетан механизам прикупљања података од прикупљања података са интелигентних уређаја у мрежи па све до слања прикупљених података одговарајућим деловима ПНПМБД платформе (OpenTSDB и HDFS). При томе су навођени и детаљи попут подешавања колектора података за случајеве недоступних интелигентних уређаја тако да се постигне оптималан рад колектора. У четвртом одељку су описане агрегације прикупљених података. Описане су просторна и временска агрегација података. Затим су описане и OpenTSDB и пост агрегације података, као и њихове примене. Посебна пажња је посвећена детаљном опису процене стања неинтелигентних уређаја са којих није могуће прикупљати податке. Стање тих уређаја је могуће проценити на основу података прикупљених са интелигентних уређаја што је и детаљно описано уз демонстрацију кроз један практичан пример. Последњи, пети, одељак је посвећен опису проблема на које се наилазило током имплементације ПНПМБД у оквиру једне реалне NFC мреже. Иако је већина изазова добро процењена приликом дизајна система, приликом пуштања у рад система у једној реалној мрежи, ипак су се појавили непредвиђени проблеми. Овај одељак даје опис проблема на које се наишло током имплементације у реалној мрежи, као и решења тих проблема која су такође један од битнијих резултата ове дисертације. Неки од проблема су: загушење OpenTSDB услед велике количине долазног саобраћаја који су генерисали колектори података, употреба IP за идентификацију CPE уређаја, потреба за обогашивањем прикупљених података. У трећем потпоглављу су размотрени аспекти безбедности и приватности података који се прикупљају. Ово

потпоглавље садржи два одељка. Први одељак се бави аспектом приватности са генералног становишта, а други одељак се бави аспектом приватности података са становишта ПНПМБД. Дат је и преглед релевантне литературе из ових области у првом одељку. У другом одељку је дата илустрација како се може нарушити приватност података у ПНПМБД услед непажње у дизајну система и третирању података, као и како је описани проблем избегнут у ПНПМБД.

Шесто поглавље се бави применом ПНПМБД у детекцији и локализацији отказа у НФС мрежама. Прво је дат преглед релевантне литературе из области детекције и локализације отказа у мрежама. Потом је у првом потпоглављу изложено како се ПНПМБД користи за детекцију и локализацију отказа. Искоришћена је чињеница да НФС мреже имају топологију стабла па се на основу прикупљених података и адекватно постављених прагова може не само детектовати већ и локализовати отказ у мрежи. Дат је и практичан пример који илуструје принцип рада детекције и локализације употребом ПНПМБД-а. У два засебна одељка су детаљно описани, прво детекција отказа, а потом и локализација отказа у НФС мрежи употребом ПНПМБД. Потом је у последњем трећем одељку дато поређење са постојећим решењима за детекцију и локализацију отказа која су доступна у литератури.

У седмом поглављу су размотрене додатне могућности употребе ПНПМБД. Наиме, прикупљени подаци садрже и друге корисне информације, а не само информације о перформансама мреже. Циљ поглавља је да размотри додатне могућности и примене прикупљених података. У првом потпоглављу је размотрена анализа постојећих података тако да се извуку и друге информације поред информација о перформансама НФС мреже. Наведено је неколико примера додатне употребе података, попут маркетиншке употребе података и оптимизације понуда претплатничких уговора клијентима. У другом потпоглављу је размотрена могућност проширења ПНПМБД подршком за друге домене (нпр. интернет ствари, DSL) чиме би оператор могао да повећа употребну вредност своје платформе за надгледање. Додатно се тиме отвара могућност комбиновања података из различитих домена и извлачење додатних корисних информација. У трећем потпоглављу је размотрена примена машинског учења у обради прикупљених података. Применом машинског учења је могуће побољшати предикције одређених догађаја у мрежи, попут деградације одређених делова мреже. Тиме би се могли предупредити проблеми и самим тим побољшати перформансе мреже.

У осмом поглављу су размотрени будући правци развоја платформе, односно, будући истраживачки рад. Први правац истраживања би представљао додавање подршке за интернет ствари у ПНПМБД. Размотрена је и релевантна литература у области употребе технологије великих података у интернету ствари. Потом је описано како би се ПНПМБД могао једноставно проширити подршком за интернет ствари. Такође, дати су и примери како би телекомуникациони оператори могли да искористе ово проширење за понуду нових сервиса својим корисницима, као и могућности интеграције ПНПМБД у концепт паметних градова. Урађена је и кратка анализа која показује да је повећање количине прикупљених података прихватљиво и не би представљало проблем ПНПМБД архитектури и капацитету. У наставку је описано како би се ПНПМБД могао прилагодити мобилним мрежама. Анализирани су потенцијални извори података у мобилним мрежама. Такође, дотакнути су и принципи и алати који би се могли користити за стрим прикупљање података, пошто је анализа показала да постоје и извори података који захтевају примену стрим прикупљања података.

Последње, девето, поглавље садржи закључна разматрања и резиме рада на дисертацији са истицањем најважнијих доприноса дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација се бави областима надгледања перформанси телекомуникационих мрежа, технологије великих података, детекције и локализације отказа у телекомуникационим мрежама. У наведеним областима постоји велики број радова објављених у последњој деценији што је и очекивано узимајући у обзир огроман значај телекомуникационих мрежа у савременом друштву, али и непрестано растући значај и присуство технологије великих података како у области телекомуникација тако и у многим другим областима. Значај телекомуникационих мрежа је додатно добио на тежини у условима COVID-19 пандемије и све већег удела рада на даљину у многим компанијама. Отуда су оператори у обавези да обезбеде својим корисницима што већи квалитет комуникације да би их задржали, односно да не би прешли код конкурентских провајдера. Из тог разлога, надгледање перформанси рада мреже има есенцијалан значај за добро пословање оператора. За квалитетно надгледање су потребни подаци из мреже, а пошто је количина података која се може прикупити из мреже огромна, неопходан је модернији приступ који захтева употребу технологије великих података. Такође, из прикупљених података могуће је добити и друге корисне информације за пословање оператора, на пример, оптимизација понуда својим претплатницима или планирање нових сервиса и будућих проширења мреже. Све наведено указује да се дисертација бави савременом и актуелном тематиком.

У оквиру дисертације су сагледани и анализирани проблеми и изазови у надгледању перформанси телекомуникационих мрежа, нарочито за случај када се надгледање ради на основу огромне количине података прикупљених из мреже. На основу ове анализе дизајниран је систем за надгледање перформанси телекомуникационих мрежа заснован на технологији великих података. Главни допринос ове дисертације је управо наведени реализовани систем који се успешно користи у пракси у реалној кабловској мрежи са великим бројем корисника. При томе, дат је комплетан опис архитектуре и рада система, што је допринос постојећој доступној научној литератури која је углавном садржала парцијална решења и описе. У оквиру система су предложене различите технике и алгоритми прилагођени кабловским мрежама које унапређују рад система попут обогаћивања прикупљених података, процене стања неинтелигентних уређаја, решавања проблема оптерећења услед огромног саобраћаја прикупљених података и др. Такође, анализирани су и додатне могућности и проширења реализованог система за надгледање перформанси мреже, и утврђено је да је систем креиран флексибилно и омогућава једноставна проширења којима систем превазилази своју основну намену. 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, актуелну и релевантну литературу преваходно из области великих података, примене великих података у телекомуникацијама, надгледања перформанси у телекомуникационим мрежама, и детекције и локализације отказа у телекомуникационим мрежама којима се и бави дисертација. Наведено је 158 референци, при чему је свака референца наведена бар једном у дисертацији. Такође, цитирани су и радови кандидата који су проистекли из истраживања током његовог рада на докторској дисертацији (7 референци). Већина референци су релевантни радови публиковани у реномираним међународним часописима и конференцијама, а коришћени су и извори са интернета (веб референце) за новија технолошка достигнућа, односно коришћене алате технологије великих података. Имајући у виду број референци, од којих је значајан број из периода последњих неколико година, може се закључити да је тема дисертације актуелна и

релевантна, а такође бројност референци потврђује да је урађена свеобухватна анализа постојећих решења што је такође битан део дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

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

- Анализа актуелне и релевантне литературе из области надгледања перформанси телекомуникационих мрежа и примене технологије великих података у циљу утврђивања празнина, као и критичних проблема и изазова у дотичној области које нису покривене литературом.
- Анализа рада и архитектуре кабловских мрежа, у циљу идентификовања специфичних захтева, изазова и проблема везаних за надгледање перформанси кабловских мрежа узимајући у обзир и огромне количине података.
- Анализа постојећих и доступних алата отвореног кода у технологији великих података ради селекције оних алата који су одговарајући за реализацију система за надгледање перформанси кабловских мрежа.
- Верификација исправности и анализа квалитета рада реализованог система за надгледање перформанси кабловске мреже тестирањем у реалној мрежи.
- Преглед и анализа постојећих решења за детекцију и локализацију отказа у мрежама, као и компаративна анализа предложеног решења за детекцију и локализацију отказа и постојећих решења.
- Анализа типова прикупљених података и могућности њихове додатне примене поред примене за надгледање перформанси мреже.
- Анализа могућности примене предложеног система за надгледање перформанси кабловске мреже у другим телекомуникационим мрежама.

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 је систем за надгледање перформанси кабловске мреже заснован на технологији великих података. При томе, систем има подршку за детекцију и локализацију отказа у кабловским мрежама. Веома је битно нагласити да се реализовани систем успешно користи у једној реалној кабловској мрежи са великим бројем претплатника. Тиме је верификована исправност рада реализованог система, као и његов квалитет. Поред тога, реализовани систем је креиран да буде флексибилан. Веома је лако прилагодити или проширити реализовани систем подршком и за друге типове телекомуникационих мрежа при чему је главно прилагођење развој нових колектора података, односно основна архитектура предложеног система суштински остаје иста. У самој дисертацији су дате смернице за проширење платформе подршком за интернет ствари, као и за мобилне мреже. Такође, дате су и смернице за додатне могућности примене прикупљених података попут предикције применом машинског учења, извлачења додатних информација и њихове примене у разноврсне сврхе попут маркетиншке. На крају, и саме анализе изазова са становишта великих података, а са којима се суочава реализовани систем за надгледање перформанси кабловске мреже могу да се искористе и при реализацији других система заснованих на технологији великих података.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у оквиру свог рада на дисертацији обавио обимно истраживање релевантне и актуелне литературе из области надгледања перформанси телекомуникационих мрежа и примене технологије великих података, и на основу резултата истраживања урадио преглед и анализу постојећег стања области, као и постојећих решења, и на крају детектовао постојеће празнине и изазове у области. На основу наведених иницијалних истраживања, кандидат је утврдио недостатак описа једног свеобухватног решења за надгледање перформанси кабловских мрежа које је засновано на технологији великих података у постојећој доступној научној литератури. Кандидат је развио систем за надгледање перформанси кабловских мрежа уз употребу технологије великих података, при чему је исправно детектовао изазове и дефинисао захтеве које систем мора да испуни. Реализовани систем је успешно верификован применом у једној реалној кабловској мрежи где се и даље веома успешно користи. Поред тога кандидат је успешно извршио анализу како додатних могућности примене прикупљених података, тако и примене реализованог система у другим телекомуникационим мрежама. Током рада на дисертацији кандидат је доказао самосталност у раду, као и способност критичког размишљања. Објављивањем постигнутих резултата истраживања у оквиру докторске дисертације кроз научне радове међу којима су и два рада у часописима са JCR листе, кандидат је показао да је способан за представљање 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:

- Анализа и преглед постојећих решења за надгледање перформанси телекомуникационих мрежа и прикупљање одговарајућих метрика из мреже.
- Анализа изазова у надгледању перформанси телекомуникационих мрежа са становишта великих података.
- Реализација флексибилног и скалабилног система за надгледање кабловске мреже заснован на технологији великих података. Реализовани систем се успешно користи у једној реалној кабловској мрежи са великим бројем корисника.
- Предлог алгоритма за процену стања неинтелигентних уређаја у кабловској мрежи на основу података прикупљених са интелигентних уређаја.
- Предлог алгоритма за ефикасну и брзу аутоматизовану детекцију и локализацију отказа у кабловским мрежама.
- Анализа додатних могућности и примена података прикупљених из кабловске мреже.
- Анализа проширења реализованог система подршком за интернет ствари и мобилне мреже.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Кандидат је успешно идентификовао могућности за унапређење области надгледања перформанси телекомуникационих мрежа и тиме потврдио исправност својих полазних хипотеза које је поставио на почетку истраживања везаног за изradу докторске дисертације. На основу истраживања и анализе одговарајуће актуелне литературе и тренутног стања

области, кандидат је успешно предложио сопствено решење које унапређује област надгледања перформанси телекомуникационих мрежа. Предложени систем омогућава ефикасно прикупљање, складиштење и обраду података из кабловске мреже и тиме квалитетно надгледање перформанси мреже. При томе, реализовани систем је флексибилан са становишта додавања подршке или прилагођења другим типовима телекомуникационих мрежа. Веома је битно истаћи да се реализовани систем већ успешно користи у пракси, односно у једној реалној кабловској мрежи са великим бројем корисника. У дисертацији су дискутоване и додатне могућности употребе прикупљених података поред примене за надгледање перформанси мреже. 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 кандидат је 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 M22:

1. **M. Simakovic**, Z. Cica, „Detection and Localization of Failures in Hybrid Fiber–Coaxial Network Using Big Data Platform,“ *MDPI Electronics*, vol.10(23), 2906, November 2021, IF₂₀₂₁=2.412, ISSN 2079-9292, DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10232906>.
2. **M. Simakovic**, Z. Cica, D. Drajić, „Big-Data Platform for Performance Monitoring of Telecom-Service-Provider Networks,“ *MDPI Electronics*, vol.11(14), 2224, July 2022, IF₂₀₂₁=2.412, ISSN 2079-9292, DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics11142224>.

Категорија M33:

1. **M. Simakovic**, I. Masnikosa, Z. Cica, „Performance monitoring challenges in HFC networks,“ *Proc. of TELSIKS 2017*, Niš, Serbia, October 2017, pp. 385-388, ISBN 978-1-5386-1800-4, DOI: 10.1109/TELSKS.2017.8246305.
2. **M. Simakovic**, Z. Cica, I. Masnikosa, „Big Data Architecture for Mobile Network Operators,“ *Proc. of TELSIKS 2021*, Niš, Serbia, October 2021, pp. 283-286, ISBN 978-1-6654-4442-2, DOI: 10.1109/TELSKS52058.2021.9606290.
3. **M. Simakovic**, Z. Cica, D. Drajić, „Location Privacy Improvements in Telecommunication Data Management Systems,“ *Proc. of icETAN 2022*, Novi Pazar, Serbia, June 2022, pp. TEI1.3.
4. **M. Simakovic**, Z. Cica, D. Drajić, „Introducing IoT to Big Data Platform for Network Performance Monitoring,“ *Proc. of icETAN 2022*, Novi Pazar, Serbia, June 2022, pp. TEI1.4.

Категорија M63:

1. **M. Simakovic**, Z. Cica, „Big Data Applications and Challenges,“ *INFOTEH 2016*, Jahorina, Mart 2016, ISBN 978-99955-763-9-4.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

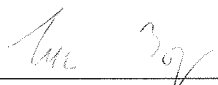
Комисија сматра да докторска дисертација „Систем за надгледање перформанси мреже кабловског оператора заснован на технологији великих података“ кандидата Милана Симаковића испуњава све суштинске и формалне услове који су предвиђени Законом о високом образовању и релевантним прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У оквиру докторске дисертације кандидата је прво извршен детаљан преглед и анализа постојећих решења у области надгледања перформанси телекомуникационих мрежа, као и доступних алата отвореног кода који се користе у технологији великих података. Такође, сагледани су и дефинисани изазови на које један систем за надгледање перформанси телекомуникационих мрежа мора да одговори. На основу резултата наведених анализа, реализован је скалабилан и флексибилан систем за надгледање перформанси мреже кабловског оператора, који се тренутно успешно користи у једној реалној кабловској мрежи која опслужује велики број корисника. Тиме је потврђена успешност реализације и квалитет система. У оквиру реализованог система је предложено неколико иновативних приступа и алгоритама за решавање проблема који се јављају услед рада са великим количинама података, као и за ефикасније искоришћење прикупљених података. Додатно, развијен је и алгоритам за брзу и ефикасну детекцију и локализацију отказа у кабловским мрежама. На крају, анализирани су и могућности додатне примене прикупљених података, као и проширење реализованог система подршком за друге типове телекомуникационих мрежа. Током рада на дисертацији, кандидат је показао способност за самосталан научни рад што је потврђено објављивањем више научних радова директно везаних за тему докторске дисертације, као и резултатима оствареним у оквиру саме дисертације.

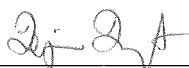
Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Систем за надгледање перформанси мреже кабловског оператора заснован на технологији великих података“ кандидата **Милана Симаковића** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 14.10.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ




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



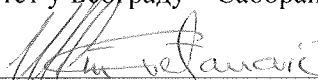
др Дејан Драјић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Предраг Иваниш, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Ненад Јевтић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет



др Милош Цветановић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет