

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Стефана Костића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком бр. 5036/14-3 од 19.03.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Стефана Костића** под насловом

„Предикција губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама применом ненадгледаног машинског учења“

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

Стефан Костић је школске 2014/2015 уписао докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Телекомуникације, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Све испите предвиђене планом докторских студија положио је са највишом оценом 10.

Кандидат је 27.08.2020. године пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Предикција губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама применом ненадгледаног машинског учења“. За ментора предложена је др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду разматрала је 01.09.2020. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата на усвајање Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду именовало је Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (Одлука бр. 5036/2014-1 од 18.09.2020. године) у саставу:

1. др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Милан Ђелица, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
3. др Ненад С. Митић, редовни професор, Математички факултет Универзитета у Београду,

4. др Бошко Николић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

На јавној усменој одбрани теме докторске дисертације, одржаној 01.10.2020. године, кандидат Стефан Костић успешно је положио докторски испит са оценом „задовољио“.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду усвојило је Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (Одлука бр. 5036/14-2 од 18.11.2020. године). За ментора дисертације именована је др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор.

Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (Одлука бр. 61206-4093/2-20 од 01.12.2020. године).

Кандидат је 24.02.2021. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је 02.03.2021. године испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Предикција губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама применом ненадгледаног машинског учења“ (Одлука бр. 5036/14-3 од 19.03.2021. године) у саставу:

1. др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Милан Ђелица, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
3. др Ненад С. Митић, редовни професор, Математички факултет Универзитета у Београду,
4. др Бошко Николић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
5. др Предраг Пејовић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Кандидат Стефан Костић започео је студијски програм 2014. године. На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата Стефана Костића под насловом „Предикција губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама применом ненадгледаног машинског учења“ припада научној области Техничке науке-Електротехника, ужој научној области Телекомуникације, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. За ментора докторске дисертације одређена је др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, која се дужи период бави истраживањима у ужој научној области Телекомуникације којом се бави предметна докторска дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Стефан Костић је рођен 29.09.1990. године у Београду. Основну школу „Вељко Дугошевић“ завршава са одличним успехом (просек оцена 5,00) и Вуковом наградом, те као ћак генерације. Носилац је више награда на савезном и републичком нивоу из физике и математике. Средњу школу „Математичка гимназија“ завршава са одличним успехом

(просек оцена 5,00) и Вуковом наградом. Основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписао је 2009. године. Дипломирао је на одсеку за Телекомуникације и информационе технологије, смер Системско инжењерство 2013. године, са просечном оценом 9,18. Дипломски рад на тему „Принципи UWB технологије“ одбранио је са оценом 10. Мастер академске студије уписао је 2013. године на Електротехничком факултету, модул Системско инжењерство и радио комуникације, и завршио их је 2014. године са просечном оценом 9,83. Мастер рад на тему „Принципи компресије аудио и видео сигнала у савременим телекомуникационим системима“ одбранио је са оценом 10.

Докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Телекомуникације, уписао је 2014. године, где је положио све испите са просечном оценом 10. Области истраживања током докторских студија обухватају припрему и анализу података, алгоритме надгледаног и ненадгледаног машинског учења, као и науку о подацима у целини.

Стефан Костић је од октобра 2013. до маја 2015. године био запослен у фирмама „*P3 Communication*“ као инжењер за верификацију података, где му је свакодневна обавеза била анализа записа на релацији мобилни уређај - базна станица ради откривања потенцијалних проблема у конфигурацији мрежних елемената. Од јуна 2015. до маја 2016. године, Стефан Костић је био запослен у фирмама „Телеком Србија“ као софтверски инжењер. На тој позицији, бавио се подршком пословној интелигенцији у бизнису, као и моделовањем и анализом података које телекомуникациони оператор прикупља у редовном раду. Од јуна 2016. до октобра 2016. године, Стефан Костић је био запослен у фирмама „*Ibis-Instruments*“ као аналитичар великих података где се бавио анализом података из сензорских мрежа. Од новембра 2016. до априла 2019. године, Стефан Костић је био запослен у фирмама „Ерсте банка“ као *Data Scientist*, односно као *Lead Data Scientist*. У том периоду између осталог бавио се и моделовањем података за регулаторне потребе, креирањем стрес тестова пословања банке, моделовањем података за подршку пословној интелигенцији и продаји, као и различitim пројектима везаним за пословање банке на локалном и регионалном нивоу. Од маја 2019. запослен је у фирмама „*United Group*“ на позицији *Lead Data Scientist* где је наставио са радом на моделовању различитих врста података кабловских и мобилних оператора у земљи и региону југоисточне Европе.

Стефан Костић је аутор рада објављеног у научном часопису међународног значаја са *SCI* листе категорије M22. Аутор је и два рада објављена на конференцијама од међународног значаја, као и два рада објављена на конференцијама од националног значаја.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Стефана Костића под насловом „Предикција губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама применом ненадгледаног машинског учења“ написана је на српском језику ћириличним писмом и има 113 страна. Садржи 33 слика, 9 табела, 60 једначина и 112 библиографских референци. Такође, докторска дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, кратак резиме докторске дисертације на српском и енглеском језику, захвалнице, списак слика, списак табела, списак скраћеница, садржај, седам тематских поглавља, преглед коришћене литературе, биографију аутора и прилоге. Поглавља докторске дисертације су насловљена на следећи начин: 1. Увод, 2. Преглед повезане литературе, 3. Наука о подацима: преглед и примери, 4. Ненадгледано машинско учење, 5. Анализа друштвених мрежа и теорије графова, 6. Примена метода кластеријације у мобилним телекомуникацијама ради предвиђања губитка клијента, 7. Закључак. Докторска дисертација садржи следеће прилоге: Прилог 1 - Изјава о ауторству, Прилог 2 - Изјава о

истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације, и Прилог 3 - Изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводно поглавље разматра проблеме анализе података коришћењем различитих метода науке о подацима, са посебним освртом на податке мобилних телекомуникационих оператора.

У другом поглављу је дат преглед релевантне литературе и публикованих научно-стручних радова.

Треће поглавље садржи детаљнији опис основних карактеристика науке о подацима и њених примена у науци и индустрији.

Четврто поглавље пружа детаљнији увид у технологије ненадгледаног машинског учења и конкретно на метод кластеријазације.

У оквиру петог поглавља је дат опис примена теорије графова у анализи друштвених мрежа.

Шесто поглавље даје приказ истраживања, развоја као и резултате пројекта који је био базиран на примени науке у подацима у мобилним телекомуникацијама ради предикције вероватноће да ће клијент напустити мобилног телекомуникационог оператора.

У оквиру завршног седмог поглавља изложена су закључна разматрања ове докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Стефана Костића припада области развоја нових и модификације постојећих алгоритама за предикцију губитка корисника, на бази примене алгоритама ненадгледаног машинског учења и науке о подацима. Модели за предикцију губитка корисника, попут модела представљеног у оквиру ове дисертације, предмет су интересовања истраживача, о чему сведочи изузетно велики број објављених научно-стручних радова у релевантним часописима.

Оригиналност рада презентованог у овој докторској дисертацији огледа се у развоју модела који ће, на основу постојећих корисника који напуштају посматраног мобилног телекомуникационог оператора и њихових образца комуникације, проактивно предвиђати нове клијенте који имају високу вероватноћу напуштања посматраног мобилног телекомуникационог оператора. Модел који је представљен у дисертацији је базиран на принципима анализе друштвених мрежа, ненадгледаних метода машинског учења и теорији графова. Постојеће студије показују да скоро 75% клијената који напуштају мобилне телекомуникационе операторе има навику да говори своје негативно искуство са оператором барем једној особи из свог окружења. Дакле, информација о обрасцу комуницирања неког конкретног нездадовољног клијента може бити витална за предикцију његове евентуалне одлуке за напуштањем свог тренутног мобилног телекомуникационог оператора. Управо анализа друштвених мрежа може пружити тај дубљи увид у понашање клијената. Резултати истраживања представљеног у докторској дисертацији су доволјно општи да могу одмах бити употребљени у било којем пољу где се пријатељске или хомофилне везе могу посматрати као потенцијални узрочник осипања и умањења броја клијената.

Савременост предложених алгоритама огледа се у њиховој широкој примени за успешно решавање постављених проблема. Све предложене алгоритме карактерише једноставност имплементације, висока прецизност, као и одговарајућа комплексност и време извршавања алгоритама, што их чини атрактивним за примену у решавању проблема пасивног лоцирања.

С обзиром на значај истраживања који проистиче из савремености и актуелности описане проблематике, комисија сматра да докторска дисертација кандидата задовољава све прописане стандарде.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат је детаљно истражио постојећу релевантну литературу, која покрива посматрану научну област. Значајан број радова новијег је датума што указује на актуелност одабране проблематике. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидат имао темељан увид у досадашње доприносе у овој и блиским научним областима. Наведено је укупно 112 библиографских референци. Коришћена литература укључује и радове из часописа међународног значаја, као и радове на међународним и националним конференцијама, на којима је кандидат први аутор, а који су директно произтекли из рада на докторској дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се од следећих активности:

1. Преглед и анализа постојеће научне литературе у циљу поређења предности и недостатака постојећих метода за предикцију губитка корисника.
2. Анализа перформанси постојећих алгоритама за одређивање вероватноће губитка корисника, конкретно поређењем њихових одговарајућих вредности *lift* метрике.
3. У циљу анализе чвррова друштвене мреже формиране помоћу записа о позивима унутар мреже телекомуникационог оператора, коришћена је теорија графова и њени механизми за одређивање метрика чвррова у графу.
4. Развоја модела за детекцију инвалидних чвррова графа (чвррова који не одговарају људима, већ телемаркетинг центрима, или корисничким сервисима).
5. Развијен је модел базиран на анализи кластера и то за два одвојена сета улазних метрика (метрикама за неусмерене графике, односно метрикама за усмерене графике).
6. Описани модел је имплементиран у програмском окружењу *SAS Enterprise Guide* и *SAS Enterprise Miner*.
7. Формирана је јединствена оцена помоћу које су финално груписани клијенти; финална оцена је базирана на основу њиховог утицаја у анализираној друштвеној мрежи позива унутар мобилног телекомуникационог оператора.
8. Перформансе предложеног модела су анализиране и поређене са алтернативним методама базираним на машинском учењу.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада и довела је до остваривања циљева докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Докторска дисертација иницирана је високом мером компетитивности која је присутна на тржишту мобилних телекомуникација, као и чињеницом да широки спектар постојећих решења која су представљена у научним радовима мањом није узимао у обзир хомофилију и друштвене релације као потенцијални разлог губитка корисника.

Битно је нагласити да, иако је донекле очекивано да ће хомофилија и друштвене везе између клијената утицати на губитак претплатника посматраног мобилног телекомуникационог оператора, додатна вредност коју пружа истраживање представљено у докторској дисертацији представља могућност квантификације овог ефекта. Додатно, показано је да један посебни кластер клијената посматраног мобилног телекомуникационог оператора (клијенти који припадају кластеру Језгро), неће погубно утицати на своју околину.

Дакле, показано је да уколико клијент који припада кластеру Језгро напусти посматраног мобилног телекомуникационог оператора, то неће довести до масовног губитка корисници из његове околине у мрежи мобилног телекомуникационог оператора. Овај ефекат се јавља из разлога што је околина клијената који припадају кластеру Језгро најчешће такође члан истог сегмента који је јако везан за посматраног мобилног телекомуникационог оператора и као такви неће бити у опасности да промене свог провајдера телекомуникационих услуга. Сумирано, очекивано хомофилно понашање клијената посматраног мобилног телекомуникационог оператора није исто код клијената који припадају различитим финалним кластерима.

Додатно, још једна од предности модела за предикцију губитка корисника мобилних телекомуникационих оператора који је представљен у докторској дисертацији је то да може релативно једноставно бити комбинован са другим моделима који су базирани на алтернативним изворима информација. На пример, комбиновањем резултата модела базiranog на анализи кластера приказаног у докторској дисертацији и модела за предикцију губитка корисника базираног на задовољству корисника, стопа прецизности комбинованог модела би била још већа.

Нажалост, услед специфичног типа података који је потребан за тип анализе који је представљен у докторској дисертацији, јако је тешко обезбедити још неки скуп података истог типа (CDR податке неког другог мобилног телекомуникационог оператора и податке о деактивираним корисницима) који би се могао искористити за додатну проверу предложеног модела. Такође, потребно је имати у виду да центроиди који су дефинисани на основу анализе метрике теорије графова добијених анализом графа позива једног мобилног телекомуникационог оператора не морају бити исти као и центроиди који би се добили анализом записа позива мобилног телекомуникационог оператора са неког другог тржишта, или друге величине (корисничке базе). Дакле, предложени модел би морао да буде рекалибрисан ради успешне и исправне примене код других мобилних телекомуникационих оператора. Ипак, принцип анализе података и њиховог моделовања представљен у истраживању је доволно општи да се може применити са било којим доступним скупом података.

Закључци истраживања представљеног у овој докторској дисертацији могу бити коришћени као смернице при развоју сличних модела базираних на анализи друштвених мрежа. Ипак, битно је подврхи да је потребно имати у виду све специфичности које могу произаћи из коришћења анализе друштвених мрежа у другим индустријама. Конкретно, потребно је узети у обзир да свака различита примена анализе друштвених мрежа захтева детаљно познавање друштвених и структуралних карактеристика добијеног графа, ради дефинисања успешног предiktivnog модела.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане докторске дисертације Комисија процењује да је кандидат Стефан Костић показао способност за самосталан научно-истраживачки рад почевши од систематичног прегледа доступне научне литературе, преко уочавања практичних проблема и потреба за унапређењем ефикасности и побољшањем тачности предикције губитка корисника у компетитивној индустрији мобилних телекомуникација, дефинисања предiktivnih модела, као и анализе добијених резултата. Начин на који је писана докторска дисертација и доприноси који су у њој представљени указују на зрелост кандидата за самосталан научно-истраживачки рад. Резултате истраживања у оквиру докторске дисертације кандидат је публиковао, као први аутор у часописима од међународног значаја и на међународним и националним конференцијама.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

1. Широк спектар метрика чворова у графу је проучен и описан; на основу тих метрика су откријене структуралне карактеристике графа сачињеног од свих позива унутар мреже посматраног мобилног телекомуникационог оператора.
2. Дефинисане су три групе метрика (мере за неусмерене графове, мере за усмерене графове и мера артикулације) које прецизно описују сваки елемент графа сачињеног од свих позива унутар мреже посматраног мобилног телекомуникационог оператора; показано је да, иако је граф мобилне телекомуникационе мреже по својој природи усмерен (услед природног усмерења позива од једног броја ка другом), мере за неусмерене графове такође могу пружити значајне додатне увиде који могу резултовати предвиђањем вероватноће губитка клијента.
3. Представљена је нова метода базирана на примени теорије графова за откривање неважећих чворова (чворова који не одговарају људима, већ телемаркетинг центрима, или корисничким сервисима) графа сачињеног од свих позива унутар мреже посматраног мобилног телекомуникационог оператора.
4. Развијен је модел базиран на реалним подацима који може пружити важан увид у сферу мобилног телекомуникационог пословања и може послужити као водич за осмишљавање нових и бољих стратегија за борбу против губитка корисника мобилних телекомуникационих оператора.
5. Дефинисан је алгоритам за спајање резултата две засебне методе кластеризације (које су базиране на метрикама за неусмерене графове, односно метрикама за усмерене графове) у унифицирану скalu која ће представљати финални модел за предвиђање губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама.
6. Због ограниченог обима основних променљивих које су анализиране у докторској дисертацији (само број и трајање позива), могуће је комбиновати предложени метод са другим савременим и квалитетним решењима базираним на другим променљивама (на пример, са моделима базираним на задовољству корисника и / или на преосталом времену трајања уговора корисника) и на тај начин добити још боље финалне резултате.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених резултата Комисија констатује да је кандидат Стефан Костић успешно одговорио на сва релевантна питања из проблематике којим се бави докторска дисертација.

Систематичан преглед доступне научне литературе, дефинисање проблема, формирање модела за предикцију губитка корисника мобилног телекомуникационог оператора коришћењем метода ненадгледаног машинског учења, комбиновање две методе кластеризације ради побољшања перформанси модела и остваривања додатног увида у динамику анализираних корисника, имплементација описаних алгоритама у рачунарском окружењу као и спровођење поступка симулација, верификација перформанси и анализа добијених резултата, представљају значајан научни допринос у области телекомуникација и информационих технологија.

Комисија констатује да су начни доприноси остварени у докторској дисертацији објављени у научном часопису од међународног значаја категорије M22, као и зборницима међународног и националног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси презентовани у докторској дисертацији су верификовани у следећим објављеним радовима:

Категорија М22:

1. Kostić, S., Simić, M., Kostić, M.: Social Network Analysis and Churn Prediction in Telecommunications Using Graph Theory, - *Entropy*, vol. 22, no. 7, 753, 2020 (IF=2.494) (ISSN 1099-4300).

Категорија М33:

1. Kostić, S., Đuričić, M., Simić, M., Kostić, M.: "Data Mining and Modeling use Case in Banking Industry," - *Proceedings of the IEEE 26th Telecommunications Forum, TELFOR*, Belgrade, Serbia, November 2018, pp. 1-4.

Категорија М63:

1. Kostić, S., Sretenović, J., Simić, M., Kostić, M.: "Detekcija ekstremnih korisnika u telekomunikacionim mrežama pomoću analize socijalnih mreža," - *Zbornik 60. konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku, ETRAN*, Zlatibor, Srbija, jun 2016, str. TE1.1. 1-4.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертације кандидата Стефана Костића под насловом „Предикција губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама применом ненадгледаног машинског учења“ у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све битне елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У докторској дисертацији представљен је модел за предикцију губитка корисника мобилних телекомуникационих оператора који је базиран на принципима анализе друштвених мрежа, ненадгледаних метода машинског учења и теорији графова. При развоју модела, прво је формиран граф мреже позива мобилног телекомуникационог оператора коришћењем записа о позивима унутар посматраног периода. Израчунате су вредности девет изабраних метрика свих чворова анализираног графа позива, а тих девет метрика је подељено у три групе: усмерене метрике, неусмерене метрике и мера артикулације чвора графа. У следећем кораку, елиминисани су сви неважећи чворови који не одговарају реалним корисницима мобилног телекомуникационог оператора. Такође, извршена су два засебна поступка анализе кластера (коришћењем усмерених и неусмерених метрика) на преосталим подацима. Уведена је формула за спајање две засебне кластеризације и формирана су четири финална кластера: Пратилац, Стандардни, Лидер и Језгро, уз додатак једне мање групе коју представљају Битни корисници. Након тога, дефинисана је финална група значајних клијената (клијенти који припадају кластерима Лидер и Битни), чији су чланови у могућности да своје нездовољство (које је резултовало напуштањем анализираног оператора) пренесу на своју друштвену мрежу коју чине клијенти посматраног мобилног телекомуникационог оператора који комуницирају са њима. Коришћењем реалних података о изгубљеним корисницима посматраног мобилног телекомуникационог оператора, лоцирана је једна група значајних клијената која је напустила посматраног оператора у предефинисаном периоду. Њихова околина је анализирана у наредном периоду ради провере вероватноће напуштања мобилног телекомуникационог оператора. Тврђа да ће велики број клијената из околине значајних клијената (који су променили оператора) напустити посматраног мобилног телекомуникационог оператора је потврђена коришћењем реалних података о деактивираним претплатницима мобилног телекомуникационог оператора. На крају, у последњем кораку су перформансе предложеног решења базираног на

ненадгледаним методама машинског учења поређене са перформансама алтернативних решења базираних на надгледаним методама машинског учења (коришћењем алгоритама стабала одлучивања и неуралних мрежа). Остварени резултати дисертације имају значајну примену у решавању проблема предвиђања губитка корисника мобилних телекомуникационих оператора.

Резултате проистекле из вишегодишијег истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је објавио у водећем међународном часопису и презентовао стручној јавности на конференцијама међународног и националног значаја. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата, Комисија констатује да докторска дисертација представља оригиналан и савремен научни допринос у домену Телекомуникација и информационих технологија.

Кандидат Стефан Костић показао је способност за самосталан научни рад, што потврђује и чињеница да је објавио неколико научних радова који су проистекли из дисертације, а у којима се појављује као први аутор. Комисија констатује да је кандидат Стефан Костић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Имајући у виду наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „**Предикција губитка корисника у мобилним телекомуникационим мрежама применом ненадгледаног машинског учења**“ кандидата **Стефана Костића** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 16.04.2021. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Мирјана Симић-Пејовић
др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

М. Ђелица
др Милан Ђелица, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Ненад Митић
др Ненад Митић, редовни професор
Универзитет у Београду – Математички факултет

Б. Николић
др Бошко Николић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

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