

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње **Мајде А. Петрић**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 5015/11-3 од 26.4.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **Мајде А. Петрић** под насловом

„Одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима коришћењем метода заснованих на *Support Vector Machine* алгоритмима“

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Мајда Петрић је 27. децембра 2011. уписала докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Телекомуникације, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Све испите предвиђене планом докторских студија положила је са највишом оценом 10.

На основу одлуке Наставно–научног већа бр. 545/2 од 13.3.2012. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2011/2012, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета.

Кандидаткиња је 03.11.2016. године пријавила тему за израду докторске дисертације под насловом „Одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима коришћењем метода заснованих на *Support Vector Machine* алгоритмима“. За ментора је предложен др Александар Нешковић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Комисија за студије трећег степена разматрала је 08.11.2016. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата на усвајање Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

На 806. седници одржаној 15.11.2016. године, Наставно-научно веће је именovalo Комисију за оцену услова и приhvатање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5015/11-1 од 24.11.2016. године) у саставу:

1. др Наташа Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Никола Томашевић, научни сарадник, Институт Михајло Пупин,
3. др Жељко Ђуровић, редован професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
4. др Мирјана Симић Пејовић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

На јавној усменој одбрани теме докторске дисертације, одржаној 16.12.2016. године, кандидаткиња Мајда Петрић је успешно положила докторски испит са оценом „задовољила“.

На 808. седници одржаној 10.01.2017. године, Наставно-научно веће је усвојило Извештај Комисије за оцену услова и приhvатање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5015/11-2 од 17.1.2017. године). За ментора дисертације именован је др Александар Нешковић, редовни професор.

Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број одлуке 61206-201/2-17 од 30.1.2017. године).

Кандидаткиња је 15.3.2018. године предала докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је 10.4.2018. године испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

На 825. седници одржаној 17.04.2018. године, Наставно-научно веће именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима коришћењем метода заснованих на *Support Vector Machine* алгоритмима” (број одлуке 5015/11-3 од 26.4.2018. године) у саставу:

1. др Александар Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Наташа Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
3. др Никола Томашевић, научни сарадник, Институт Михајло Пупин,
4. др Жељко Ђуровић, редован професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
5. др Мирјана Симић Пејовић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Мајде Петрић под насловом „Одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима коришћењем метода заснованих на *Support Vector Machine* алгоритмима” припада научној области Техничке науке - електротехника, ужој научној области Телекомуникације, за коју је матични факултет Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Александар Нешковић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, који се дуги низ година бави научноистраживачким радом у области развоја алгоритама за позиционирање корисника у

јавним мобилним системима, из које је публикувао већи број радова у истакнутим међународним часописима са SCI листе.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Мајда Петрић рођена је 20. октобра 1986. године у Београду. Девету београдску гимназију „Михајло Петровић Алас“ завршила је 2005. године као носилац дипломе „Вук Стефановић Караџић“. Основне студије на Електротехничком факултету у Београду уписала је 2005. године. Одсек за телекомуникације и информационе технологије, смер Радио комуникације, завршила је 2009. године са просечном оценом 9.62 и оценом 10 за Дипломски рад на тему „Технике рутирања у когнитивним радио мрежама“. Дипломске – академске мастер студије на Електротехничком факултету, модул Системско инжењерство и радио комуникације, уписала је 2009. године и завршила их у децембру 2010. године са просечном оценом 10. На основу мастер рада на тему „Анализа квалитета рада примопредајника мобилних GSM терминала коришћењем мерног уређаја Rohde&Schwarz CMU200“ формирана је лабораторијска вежба за предмет Радиотехника.

Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Телекомуникације, уписала је 2011. године, где је положила све испите са просечном оценом 10.

Од јуна 2009. године радила је у Лабораторији за радио комуникације, на Катедри за телекомуникације, као сарадник на пројектима процене утицаја електромагнетног зрачења базних станица мобилне телефоније на животну средину. Као студент докторских студија и стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја, била је ангажована на пројекту ТР-32051 „Развој и реализација наредне генерације система, уређаја и софтвера на бази софтверског радија за радио и радарске мреже“ (2012.- 2013. године).

Мајда Петрић је била запослена као асистент на Катедри за телекомуникације на Електротехничком факултету у Београду од фебруара 2013. до октобра 2016. године. Била је ангажована на рачунским и лабораторијским вежбама из предмета Радио комуникације, Усмерене радио везе и Радиотехника, као и на лабораторијским вежбама из предмета: Радио-системи, Јавни мобилни системи, Телекомуникациони системи, Бежичне мреже, Телекомуникације I и Телекомуникације 3.

У току рада на факултету, учествовала је на неколико пројеката, између осталог: већи број студија о процени и стручних оцена утицаја GSM/UMTS/LTE базних станица на животну средину (ТЕЛЕКОМ СРБИЈА, 2009 - 2016), пројекат Министарства за науку и технолошки развој ТР-32051 „Развој и реализација наредне генерације система, уређаја и софтвера на бази софтверског радија за радио и радарске мреже“ (2012-2013), пројекат „Анализа међусобног утицаја секундарног радара за надзор ваздушног саобраћаја и постојећих/планираних радио-система на локацији Бесна кобила“ (Контрола летења Србије и Црне Горе, 2015), пројекат „Анализа међусобног утицаја примарног радара за надзор ваздушног саобраћаја и постојећих/планираних радио-система на локацији Бесна кобила“ (Контрола летења Србије и Црне Горе, 2016), Студија експлоатације телекомуникационе мреже ЕМС-а (ЈП Електромрежа Србије, 2015). Током 2014. године, учествовала је у програму FP7 FET EYE за младе истраживаче (*Future and Emerging Technologies – Empowering Young Researchers*).

Мајда Петрић је аутор/коаутор два рада у научним часописима међународног значаја са SCI листе, један категорије M21 (аутор) и један категорије M22 (коаутор), као и коаутор једног рада у домаћем часопису. Аутор/коаутор је три рада у зборницима међународних научних скупова, као и осам радова у зборницима скупова националног значаја.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на 201 страни текста куцаног латиничним писмом и садржи 42 слике, 17 табела, 105 једначина и 113 библиографских референци. Такође, дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, кратак резиме дисертације на српском и енглеском језику, садржај, седам тематских поглавља, преглед коришћене литературе, биографију аутора и прилог. Поглавља дисертације су насловљена на следећи начин: 1. Увод, 2. Принципи позиционирања у радио системима, 3. *Support Vector Machines* (SVM), 4. Нове методе позиционирања у јавним мобилним системима засноване на SVM алгоритмима, 5. Примена SVM алгоритама за позиционирање у *outdoor* окружењу, 6. Примена SVM алгоритама за позиционирање у *indoor* окружењу, 7. Закључак. Прилог се састоји од три дела: 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

Значај развоја техника за одређивање позиције мобилних ентитета (људи, возила или предмета), са освртом на основне критеријуме за оцену перформанси и ограничења постојећих система за позиционирање, изложен је у уводном поглављу. Дефинисани су основни циљеви истраживања и полазне хипотезе, а на крају уводног поглавља је дат и кратак опис структуре докторске дисертације.

У другом поглављу разматрани су основни принципи позиционирања у различитим типовима радио система. Дат је преглед критеријума за оцену перформанси техника за позиционирање, као и преглед захтева дефинисаних од стране регулаторних тела: Европске комисије (*European Commission*, EC) и Федералне комисије за комуникације (*Federal Communication Commission*, FCC) Сједињених Америчких Држава. У другом поглављу извршена је и анализа потенцијалних предности и недостатака коришћења различитих типова параметара радио сигнала за потребе позиционирања, попут идентификатора радио предајника (*proximity sensing*), нивоа радио сигнала на пријему, времена приспећа радио сигнала или разлике у времену приспећа радио сигнала од више предајника, као и угла наиласка сигнала. Потом је извршена класификација постојећих приступа према типу коришћене мрежне инфраструктуре и типу математичког алгорита за прорачун позиције мобилних ентитета. У завршном делу поглавља дат је систематски преглед постојећих стандардизованих и нестандардизованих метода позиционирања намењених коришћењу у *outdoor* и *indoor* окружењима. Кроз компаративну анализу постојећих приступа образложене су предности коришћења инфраструктуре јавних мобилних система са становишта обезбеђивања адекватне доступности система за позиционирање, као и комплексности и цене имплементације.

Треће поглавље је посвећено *Support Vector Machine* (SVM) алгоритмима машинског учења и мотивацији за одабир SVM алгоритама као основе за развој нових алгоритама за позиционирање. У првом делу поглавља изложене су основе теорије статистичког учења на којој се заснивају SVM алгоритми. Након тога је дат опис кернел методе за решавање нелинеарних проблема формирањем линеарних модела у високо-димензионим карактеристичним (*feature*) просторима. Након тога извршена је теоријска анализа структуре SVM алгоритама намењених решавању нелинеарних проблема класификације (*Support Vector Classification*, SVC) и регресије (*Support Vector Regression*, SVR).

У четвртном поглављу дат је предлог нових метода за позиционирање мобилних корисника у јавним мобилним системима. У првом делу поглавља образложени су мотиви коришћења

параметра нивоа сигнала базних станица (*Received Signal Strength*, RSS) на месту пријема као улазних података за прорачун позиције мобилног терминала. Истакнути су и потенцијални недостаци коришћења RSS параметара и дат је предлог могућих решења. У наставку су даље описане појединачне фазе у поступку одређивања позиције мобилног терминала у случају нове предложене технике позиционирања у јавним мобилним системима. Језгро четвртог поглавља чини опис две нове методе за прорачун позиције мобилног корисника које су реализоване у оквиру докторске дисертације: SVR и комбиноване SVC&SVR методе.

Имплементација SVR и SVC&SVR метода позиционирања на примеру реалног *outdoor* окружења на територији града Београда, разматрана је у петом поглављу. У оквиру овог поглавља приказани су и детаљно анализирани резултати верификације перформанси SVR методе позиционирања за случај коришћења инфраструктуре *Global System for Mobile Communications* (GSM) и/или *Digital Communication System* (DCS) система једног оператора, као и за различите критеријуме селекције релевантних извора радио сигнала (ћелија). Резултати спроведених експеримената показали су да, у општем случају, повећање броја релевантних ћелија у процесу позиционирања смањује број великих вредности грешака позиционирања, али само ако одабране ћелије имају довољно добар квалитет радио сигнала у географској зони од интереса. У оквиру овог поглавља приказани су и детаљно анализирани и резултати верификације комбиноване SVC&SVR методе у случају сегментације географског простора од интереса на мање под-области. Резултати спроведених експеримената потврдили су полазну претпоставку да се увођењем принципа сегментације простора и одређивањем прво уже географске области у којој се корисник налази, може остварити даље повећање тачности позиционирања кроз побољшање почетних услова за решавање проблема нелинеарне регресије. Експерименталном верификацијом SVR и SVC&SVR метода у реалном *outdoor* окружењу остварена је тачност позиционирања која је у складу са FCC захтевима и кашњење мање од једне секунде, у условима који не захтевају измене постојеће сигнализације, као ни измене на мобилним терминалима. На крају петог поглавља извршено је поређење перформанси имплементираних SVR и SVC&SVR модела и других метода позиционирања у јавним мобилним системима, за случај њихове примене у *outdoor* окружењима. У циљу квалитетног поређења, методе које су у релевантним истраживањима показале најбоље перформансе (*k Nearest Neighbours*- kNN и *Artificial Neural Networks*-ANN), имплементиране су такође за случај истог разматраног *outdoor* окружења.

У оквиру поглавља шест приказани су и детаљно анализирани резултати верификације перформанси SVR и SVC&SVR метода позиционирања у реалном *indoor* окружењу (просторије Електротехничког факултета у Београду). Поред анализе перформанси наведених метода за случај примене различитих критеријума селекције релевантних ћелија, извршена је и анализа утицаја коришћења мрежне инфраструктуре већег броја мобилних оператора. Резултати експеримената су показали предности истовременог коришћења инфраструктуре већег броја мобилних оператора услед мањег степена корелације између радио сигнала емитованих са више просторно раздвојених предајника, као и повећања броја радио извора са довољно добрим квалитетом сигнала у простору од интереса. Додатно, приказани су и детаљно анализирани резултати верификације перформанси SVC&SVR методе позиционирања за различите степене сегментације простора. Остварени резултати демонстрирају предности увођења принципа сегментације простора на мање целине и примене комбиноване SVC&SVR методе у случају *indoor* окружења већих димензија и комплексне унутрашње структуре. Експерименталном верификацијом SVR и SVC&SVR метода у реалном *indoor* окружењу остварена је тачност позиционирања која је у складу са FCC захтевима и кашњење мање од једне секунде. На крају шестог поглавља извршено је поређење перформанси имплементираних SVR и SVC&SVR модела и других метода позиционирања у јавним мобилним системима, за случај њихове примене у *indoor* окружењима. У циљу квалитетног поређења, методе које су у релевантним истраживањима

показале најбоље перформансе (*k Nearest Neighbours*- kNN и *Artificial Neural Networks*-ANN), имплементирани су такође за случај истог разматраног *indoor* окружења.

Закључна разматрања и анализа доприноса истраживања спроведених у оквиру докторске дисертације, изложени су у завршном седмом поглављу.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација припада области развоја нових техника за одређивање позиције мобилних ентитета (људи, предмета или возила), која је предмет великог интересовања научне заједнице већ дужи низ година. Развој техника за позиционирање мотивисан је првобитно безбедносним аспектом, односно обезбеђивањем сервиса хитног позива мобилним корисницима. Додатно, њихов развој отворио је врата имплементацији нове генерације телекомуникационих сервиса, тзв. LBS (*Location Based Services*) сервиса, који се заснивају на поседовању информације о позицији корисника/објекта од интереса. Из тог разлога, захтеви које нове технике за позиционирање треба да испуне по питању тачности, кашњења, доступности у различитим типовима окружења, као и цене имплементације, постају све строжији. Дисертација се бави развојем нових метода за одређивање позиције мобилних корисника (терминала) које користе напредне алгоритме машинског учења и које могу са захтеваном тачношћу и у оквиру захтеваног времена да обезбеде информацију о позицији како у *outdoor* тако и у *indoor* окружењу. Решење предложено у оквиру дисертације заснива се на коришћењу глобално распрострањених јавних мобилних система, што је од посебног значаја за повећање доступности система за позиционирање у различитим типовима окружења. Додатно, посебна пажња посвећена је минимизирању цене имплементације нове технике позиционирања, односно минимизирању утицаја на мобилне уређаје и мреже мобилних оператора.

Оригиналност рада презентованог у докторској дисертацији огледа се у развоју две нове методе за одређивање иницијалне позиције мобилног терминала коришћењем *Support Vector Machine* алгоритама машинског учења, резултатима анализе перформанси предложених метода у реалним *outdoor* и *indoor* окружењима, повећању тачности позиционирања применом принципа сегментације простора на мање целине, резултатима анализе перформанси предложених метода у случају коришћења инфраструктуре једног и/или већег броја мобилних оператора, различитог броја релевантних извора радио сигнала, као и примене различитих критеријума за селекцију релевантних радио извора у зависности од квалитета њиховог сигнала.

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

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији пажљиво је одабрана и садржи најважније радове који покривају посматрану научну област. Велики број радова новијег је датума што указује на актуелност одабране проблематике. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидаткиња имала темељан увид у досадашње доприносе у овој и блиским научним областима. Наведено је укупно 113 библиографских референци. Листа укључује и 4 рада које је кандидаткиња објавила током израде докторске дисертације, а који су директно проистекли из рада на дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У решавању постављених проблема докторске дисертације, као и у остваривању дефинисаних циљева, коришћене су следеће научне методе:

- Библиографска анализа постојећих норми којима су дефинисани захтеви по питању тачности позиционирања у различитим типовима окружења и дозвољеног кашњења.
- Анализа објављених стандарда и научно стручних радова у циљу дефинисања предности и недостатака постојећих стандардизованих и нестандардизованих техника позиционирања у радио системима.
- Анализа научно стручне литературе у домену алгоритама машинског учења у циљу развоја нових метода за решавање нелинераног проблема одређивања просторних координата корисника на основу измерених нивоа сигнала на његовој тренутној позицији.
- Спровођење мерних кампања у циљу прикупљања реалних података за формирање, тестирање и верификацију модела за позиционирање.
- Употреба програмског пакета MATLAB за реализацију модела за позиционирање коришћењем података прикупљених у реалним *outdoor* и *indoor* окружењима.
- Статистичка анализа резултата мерења нивоа сигнала у окружењима од интереса у циљу дефинисања извора радио сигнала релевантних за потребе позиционирања, тј. формирања критеријума за њихову селекцију.
- Спровођење рачунарских симулацијама у циљу анализе утицаја различитих фактора на тачност позиционирања попут: степена сегментације простора, коришћења инфраструктуре једног или већег броја оператора, броја коришћених извора радио сигнала и примењеног критеријума за њихову селекцију.

На основу изложеног Комисија констатује да су примењене научне методе адекватне за решавање постављених проблема и да су довеле до остваривања циљева докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Докторска дисертација иницирана је практичним проблемима у области одређивања иницијалне позиције мобилних корисника у различитим типовима окружења. Остварени резултати дисертације могу имати веома значајну примену у пракси.

Развијене SVM методе за одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима задовољавају прописане норме по питању тачности и кашњења система, услед чега могу бити коришћене за широки спектар сервиса који се базирају на познавању позиције корисника/објекта. Очекује се да резултати добијени у оквиру израде докторске дисертације могу наћи примену у државном (безбедносном) и приватном сектору. Посебан утицај могу имати на повећање степена јавне безбедности, као и брзину реаговања надлежних органа у хитним/ванредним ситуацијама. Додатно, могу бити платформа за даљи развој и унапређење низа комерцијалних сервиса који користе информацију о позицији корисника.

Велика предност предложених SVM метода за одређивање позиције мобилних корисника јесте у томе да се заснивају на коришћењу инфраструктуре постојећих, широко распрострањених јавних мобилних система, услед чега је могуће обезбедити доступност сервиса позиционирања у већини *outdoor* и *indoor* окружења.

Развијене методе позиционирања не захтевају никакве хардверске измене на постојећим мобилним терминалима што омогућава приступачност сервиса позиционирања великом броју корисника јавних мобилних система. Измене на страни мреже мобилних оператора ограничене су на изградњу одређеног броја регионалних SMLC (*Service Mobile Location Centre*) центара за складиштење база података и модела за естимацију просторних

координата, као и на одређене измене постојеће сигнализације које не би требало да имају велики утицај на капацитет мреже. У складу са тим, очекује се да предложено решење понуди предности у погледу минимизирања цене имплементације система за позиционирање. Додатно, све више истраживања усмерено је аутоматизацију процеса прикупљања RSS *fingerpr*int-а кроз примену *crowdsourcing* метода, што би у будућности значајно смањило цену и време формирања потребних база података. У том смислу, употреба представљених метода позиционирања добија на актуелности и њихов даљи развој и примена се тек очекују.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидаткиња Мајда Петрић, показала способност за самостални научни рад, почевши од систематичног прегледа постојеће научне литературе, норми и стандарда, преко уочавања практичних проблема и потребе за унапређењем постојећих техника позиционирања у радио системима, развоја оригиналних метода за одређивање позиције у јавним мобилним системима, спровођења поступка мерења и формирања база података за имплементацију модела, као и осмишљавања експерименталних анализа. У прилог поменутом је и чињеница да је кандидаткиња објавила неколико научних радова који су проистекли из дисертације, а у којима се појављује као први аутор.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

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

- Дат је преглед постојећих стандардизованих и нестандардизованих метода позиционирања у радио системима.
- Дат је предлог нове технике позиционирања која се заснива на коришћењу расположиве инфраструктуре јавних мобилних система и која се може применити и у *indoor* и *outdoor* окружењима различитих степена урбанизације.
- Развијене су две нове методе за одређивање иницијалне позиције мобилног корисника (терминала) коришћењем *Support Vector Machine* алгоритама машинског учења и нивоа сигнала базних станица јавних мобилних система које мобилни терминал мери на својој тренутној позицији.
- Перформансе развијених метода за позиционирање верификоване су коришћењем реалних података прикупљених током мерних кампања спроведених у *indoor* и *outdoor* окружењу на територији града Београда.
- Спроведена је анализа утицаја коришћења инфраструктуре једног и већег броја мобилних оператора на тачност позиционирања, као и анализа утицаја броја релевантних извора радио сигнала и различитих критеријума за њихову селекцију.
- Спроведена је анализа утицаја примене принципа сегментације простора на тачност позиционирања, за различите степене поделе географског простора од интереса на мање целине. Приказани су резултати анализе.

- Перформансе развијених SVM метода позиционирања упоређене су са перформансама других PLMN техника из релевантних истраживања, које су у циљу што квалитетније компарације имплементирани за иста *indoor* и *outdoor* окружења која су коришћена у оквиру дисертације.
- Развијене SVM методе позиционирања задовољиле су захтеве Федералне комисије за комуникације по питању тачности и кашњења.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата констатујемо да је кандидаткиња успешно одговорила на сва релевантна питања за решавање проблема дефинисаног предметом истраживања.

Систематичан преглед постојеће научне литературе, норми и стандарда, уочавање практичних проблема постојећих техника позиционирања у радио системима, развој оригиналних *Support Vector Machine* метода за одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима, спровођење поступка мерења и формирања база података за имплементацију модела, верификовање метода у реалним *indoor* и *outdoor* окружењима, као и спровођење експерименталних анализа у циљу утврђивања утицаја коришћења инфраструктуре већег броја мобилних оператора, различитих критеријума за селекцију релевантних извора радио сигнала и различитих типова поделе простора на тачност позиционирања, представљају значајан научни допринос у области телекомуникација и информационих технологија.

Комисија констатује да су научни доприноси остварени у дисертацији објављени у научном часопису међународног значаја категорије M21, као и у зборницима међународног и националног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња је објавила више радова у вези са темом докторске дисертације, чији су резултати директно проистекли из дисертације или су тесно везани са истраживањем спроведеним у оквиру ње:

Категорија M21:

1. M. Petrić, A. Nešković, N. Nešković, M. Borenović.: SVM-based Models for Mobile Users' Initial Position Determination - *Journal of Navigation*, Vol. 67, pp. 950-966, 2014. (IF₂₀₁₄=0.9149, ISSN: 0373-4633, doi: 10.1017/S0373463314000393).

Категорија M33:

1. M. Petrić, A. Nešković, N. Nešković.: "Dynamic k Nearest Neighbours model for mobile user indoor positioning", - *Proceedings of the 23rd Telecommunications Forum (TELFOR 2015)*, Belgrade, Serbia, 24-25 November 2015, pp. 165-168. (ISBN: 978-1-5090-0055-5, doi: 10.1109/TELFOR.2015.7377439)
2. M. Petrić, A. Nesković, N. Nesković, M. Borenović.: "RSS-based SVR models for GSM and DCS mobile users' localization", - *Proceedings of EUROCON 2013*, Zagreb, Hrvatska, 1-4 July 2013, pp. 591-596. (ISBN: 978-1-4673-2230-0, doi:10.1109/EUROCON.2013.6625041)

Категорија М63:

1. M. Petrić, A. Nešković, N. Nešković.: „Realizacija i poređenje performansi modela za indoor pozicioniranje mobilnih GSM korisnika zasnovanih na kNN i ANN algoritmu“, Zbornik radova XV naučno-stručnog simpozijuma Infoteh-Jahorina 2016, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 16-18 mart 2016, Vol. 15, str. 210-214. (ISBN: 978-99955-763-9-4)
2. M. Petrić, A. Nešković, N. Nešković, M. Borenović.: “Određivanje pozicije mobilnog korisnika korišćenjem Support Vector Regression algoritma i α - β filtra“, Zbornik radova XIII naučno-stručnog simpozijuma Infoteh-Jahorina 2013, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 19-21 mart 2014, Vol. 13, str. 527-532. (ISBN: 978-99955-763-3-2)
3. M. Petrić, A. Nešković, N. Nešković, M. Borenović.: “Analiza uticaja kvaliteta signala GSM/DCS baznih stanica na određivanje pozicije mobilnih korisnika korišćenjem Support Vector Regression algoritma“, Zbornik radova XII naučno-stručnog simpozijuma Infoteh-Jahorina 2013, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 20-22 mart 2013, Vol. 12, str. 322-327. (ISBN: 978-99955-763-1-8)
4. M. Petrić, N. Nešković, A. Nešković, M. Borenović.: “Pozicioniranje mobilnih GSM i UMTS korisnika korišćenjem Support Vector Regression metode“, Zbornik radova XX Telekomunikacionog foruma (TELFOR 2012), Beograd, Srbija, 20-22 novembar 2012, str. 428-431. (ISBN: 978-1-4673-2983-5, doi: 10.1109/TELFOR.2012.6419238)
5. M. Petrić, N. Nešković, A. Nešković, M. Borenović.: "Određivanje pozicije mobilnih GSM korisnika korišćenjem Support Vector Regression metode", Zbornik radova XI naučno-stručnog simpozijuma Infoteh-Jahorina 2012, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 21-23 mart 2012, Vol. 11, str. 302-306. (ISBN: 978-99938-624-8-2).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње Мајде Петрић под насловом „Одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима коришћењем метода заснованих на *Support Vector Machine* алгоритмима“ 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 дисертацији је предложена нова техника за одређивање позиције мобилних корисника коришћењем инфраструктуре јавних мобилних системима. Развијена су два алгоритма за естимацију просторних координата применом *Support Vector Machine* алгоритма машинског учења. Развијене методе за позиционирање верификоване су у реалном *indoor* и *outdoor* окружењу. Спроведене су анализе утицаја примене принципа сегментације простора, коришћења инфраструктуре једног или већег броја оператора, употребе различитог броја извора радио сигнала и примене различитих критеријума за њихову селекцију, на тачност позиционирања. Спроведена је компаративна анализа развијених метода и других релевантних техника позиционирања у јавним мобилним системима. Остварени резултати дисертације могу имати веома значајну примену у пракси.

Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидаткиња је објавила у водећем међународном часопису и презентовала стручној јавности на конференцијама међународног и националног значаја. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидаткиње, Комисија констатује да

дисертација представља оригиналан и савремен научни допринос у домену Телекомуникација и информационих технологија.

Кандидаткиња Мајда Петрић показала је способност за самостални научни рад, што потврђује и чињеница да је објавила неколико научних радова који су проистекли из дисертације, а у којима се појављује као први аутор. Комисија констатује да је кандидаткиња Мајда Петрић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, испунила 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 „**Одређивање позиције мобилних корисника у јавним мобилним системима коришћењем метода заснованих на *Support Vector Machine* алгоритмима**“ кандидаткиње **Мајде Петрић** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 15.05.2018. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



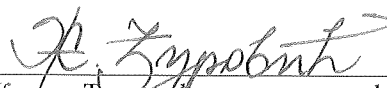
др Александар Нешковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Наташа Нешковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Никола Томашевић, научни сарадник
Институт Михајло Пупин



др Жељко Туровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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