

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата дипл. инж. електротехнике Ненада Вукмировића.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 5023/13-3 донетој на 842. седници одржаној 09.07.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ненада Вукмировића под насловом

### **Кохерентна директна локализација у дистрибуираним масивним вишеантенским системима**

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

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Ненад Вукмировић је школске 2013/2014 уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Телекомуникације. Током студија положио је све испите са просечном оценом 10 и одрадио све обавезе везане за студијски истраживачки рад.

Кандидат је тему под насловом „*Кохерентна директна локализација у дистрибуираним масивним вишеантенским системима*“ пријавио 20.06.2018. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на 830. седници одржаној 10.07.2018. године именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Предраг Иваниш, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Марија Малнар, доцент (Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет), др Марија Стевановић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

Извештај комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације је усвојен на 792. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета одржаној 20.10.2015. године. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предложену тему докторске дисертације на седници одржаној 23.11.2015. године.

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 20.06.2019. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на 842. седници одржаној 09.07.2019. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Миљко Ерић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Предраг Иваниш, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Петар

## **1.2. Научна област дисертације**

Дисертација припада научној области Техничких наука - електротехнике, у ужем смислу научној области Телекомуникације. За ове области матичан је Електротехнички факултет. Ментор дисертације је др Миљко М. Ерић, доцент на Електротехничком факултету Универзитета у Београду због научних доприноса у области теме докторске дисертације, посебно у области обраде сигнала са антенских низова.

## **1.3. Биографски подаци о кандидату**

Ненад Вукмировић рођен је 04.10.1988. године у Београду. Основну школу и Математичку гимназију завршио је у Београду, обе са просечном оценом 5. Електротехнички факултет у Београду уписао је школске 2007/08. године. Дипломирао је на Одсеку за телекомуникације 2011. године, са просечном оценом 9,84. Дипломски рад под насловом “Веб сајт IEEE HPSR 2012”, одбранио је са оценом 10. Ментор дипломског рада била је Др Александра Смиљанић. Мастер студије на истом факултету уписао је школске 2011/12 године и завршио их 2013. године са просечном оценом 10. Мастер рад под називом “Имплементација RSVP протокола на платформама отвореног кода” одбранио је са оценом 10. Ментор мастер рада био је Др Зоран Чича. Докторске студије уписао је школске 2013/2014. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Телекомуникације, где је положио све испите са оценом 10. Освојио је 3 пута прву награду на савезним (државним) такмичењима из физике, а из математике трећу награду на републичком и треће место на савезном такмичењу. На такмичењу Архимедес из математике освојио је прво место. Био је стипендиста Фонда за младе таленте Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Аутор/коаутор је 2 рада публикована у часописима са SCI листе, 4 рада на међународним конференцијама и 5 техничких решења. Коаутор је уџбеника "Увод у обраду сигнала са антенских низова". Завршио је курсеве енглеског језика на Институту за стране језике у Београду закључно са конверзацијским. Освојио је прво место на такмичењу за ниво Виши 2 енглеског језика при Институту.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **2.1. Садржај дисертације**

Дисертација је написана на 128 страна куцаног текста и садржи 57 слика, 3 табеле и 46 библиографских референци. Дисертација садржи насловну страну, кратак резиме на српском и енглеском језику, садржај, 7 поглавља и списак коришћене литературе. Наслови поглавља докторске дисертације су:

1. Увод,
2. Модел сигнала,
3. Теоријске границе прецизности локализације,
4. Методе за директну широкопојасну кохерентну локализацију у дистрибуираним антенским системима,
5. Директна локализација у дистрибуираним масивним вишеантенским системима коришћењем фазираних антенских решетки,
6. Експериментални резултати,
7. Закључак и правци даљих истраживања.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводној глави дисертације је изложена еволуција техника локализације радио предајника (укључујући и процену смера доласка сигнала) и искораци као што су високорезолуционе методе за процену смера доласка, ефикасне методе за широкопојасне сигнале, двокорачне методе (које имају проблем асоцијације), директне (једнокорачне) методе (код којих не постоји проблем асоцијације) и кохерентне методе. Под проблемом асоцијације се подразумева здруживање локализационих параметара, процењених у првом кораку, који се односе на исти извор сигнала, а у другом кораку се користе за његову локализацију. Размотрене су архитектуре система са аспекта способности да подрже локализацију, као што су масивни ММО системи, дистрибуирани антенски системи и мреже за хибридно прекодирање и комбиновање сигнала. Наведене су предности система и милиметарског опсега за локализацију. Технике предложене у дисертацији су упоређене са постојећим и објашњен је њихов значај кроз могуће примене. Посебан нагласак је стављен на побољшање перформанси линкова у хелијским системима пете генерације захваљујући високој прецизности техника локализације предложених у дисертацији, која је за 2 до 3 реда величине боља од таласне дужине носиоца.

У другој глави дисертације је изложен и образложен комплексан модел сигнала у основном опсегу учестаности на пријему, који, за разлику од већине публикованих у литератури, узима у обзир и информацију садржану у фази носиоца за побољшање прецизности локализације. Извршена је нормализација величина и домена функција и уведена конвенција за њихово означавање. Посебан нагласак је стављен на моделовање временских помака који нису целобројни умношци интервала одабирања и дефинисани су услови сценарија простирања у коме је могуће применити кохерентну локализацију (просторно кохерентни сценарио). Дат је модел сигнала на дистрибуираном антенском низу у аналогном и дигиталном домену (укључујући и матричну представу).

У трећој глави су изведене Крамер-Раове границе прецизности локализације у просторно кохерентном сценарију LoS (*Line-Of-Sight*) компоненти. Изведене су за познату секвенцу и за случајан Гаусов извора радио сигнала. Поред одређивања максималне теоријски достижне прецизности, циљ је био и да се да објективан показатељ квалитета предложених алгоритама. Такође су дискутоване и зависности ових граница од системских параметара.

У четвртој глави су формулисани кохерентни алгоритми ML (*Maximum-Likelihood*) типа за познату и непознату секвенцу и алгоритам MUSIC типа за локализацију дистрибуираним антенским низом. Њихове перформансе су анализирани Монте-Карло симулацијама. Резултати су показали да су предложени алгоритми статистички ефикасни (варијанса грешке је блиска изведеној Крамер-Раовој граници) и да достижу прецизност за два реда величине бољу од таласне дужине носиоца чак и при вишеструком простирању и у присуству интерференције. Дискутован је и проблем вишезначности процене (*ambiguity*) који је својствен кохерентним алгоритмима локализације уопште.

У петој глави је кохерентна директна локализација примењена на дистрибуиране масивне ММО системе. Предложена је хибридна архитектура ММО система која се састоји од дистрибуираних фазираних антенских решетки. За ову архитектуру је предложена вишеетапна стратегија претраживања, која обједињује алгоритме различитих нивоа кохеренције, са циљем да се смањи нумеричка комплексност, реши проблем вишезначности и уједно достигне поменута висока прецизност. Симулацијама су анализирани различите особине алгоритама из етапа ове стратегије.

У шестој глави је описана хардверско-софтверска платформа за експерименталну проверу предложених локализационих алгоритама која је реализована у оквиру истраживања. Резултати експеримената у различитим окружењима у урбаном отвореном и затвореном простору су

показали исправност претпоставки коришћеног математичког модела и указали на изворе померености процене позиције предајника.

У седмој глави су дати најважнији закључци дисертације и правци могућих даљих истраживања, као што су нови начини за решавање проблема вишезначности, прилагођавање алгоритама за сигнале примљене усмереним сноповима, смањивање нумеричке комплексности алгоритама, прецизно електронско мерење раздаљине између антена система, као и развој техника и протокола за коришћење информације о локацији терминала за унапређење перформанси линка.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Докторска дисертација припада области обраде сигнала са антенских низова. У ужем смислу, предмет истраживања предложене теме ове докторске дисертације је кохерентна широкопојасна локализација радио предајника у просторно кохерентном сценарију LOS компоненти са циљем да се оствари прецизност локализације знатно боља од таласне дужине носиоца. Класичне методе локализације не остварују толику прецизност, која је додатно погоршана при малим односима сигнал-шум, а имају и тзв. проблем асоцијације. Код метода предложених у овој дисертацији не постоји проблем асоцијације и омогућавају наведену прецизност локализације. Имајући у виду све строжије захтеве за прецизношћу локализације у новијим генерацијама ћелијских система и све већи број сервиса који се ослањају на информације о локацији терминала, формулисање и анализа перформанси напредних техника локализације представља важан сегмент развоја ове области. Предложена тема докторске дисертације припада актуелној и значајној области обраде сигнала са антенских низова, нарочито у 5G, о чему говори већи број радова публикованих у најзначајнијим часописима у протеклих неколико година.

Због све већих ширина опсега сигнала у 5G ћелијским системима, све је већа количина информација о локацији садржана у помацима анвелоба сигнала, коју онда широкопојасне методе, какве су предложене у дисертацији, могу да искористе. Такође, због све виших фреквенција носиоца у комбинацији са већим ширинама опсега, LoS компоненте постају све више раздвојиве од осталих компоненти вишеструког простирања, тако да кохерентне методе, предложене у дисертацији, могу да искористе информације садржане у њима за постизање веома велике прецизности локализације (реда промила таласне дужине носиоца) у мањим ћелијама, поготово у затвореном простору.

Још један од циљева дисертације је и да се искористе нове масивне MIMO архитектуре система, али у дистрибуираној варијанти, које омогућавају већу усмереност, а тиме и рад на фреквенцијама у милиметарском опсегу, као и решавање проблема вишезначности процене, који је својствен кохерентним методама локализације. Поред тога се дисертација бави структурама за хибридни *beamforming* у оквиру таквих архитектура, а које омогућавају енергетски ефикасан пријем и обраду сигнала. Овај аспект система је битан у новијим технологијама уопште.

#### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

Током израде дисертације кандидат је детаљно истражио постојећу релевантну литературу и коректно навео радове који су у вези са темом дисертације. Наведено је укупно 46 библиографских референци. Литература садржи најновије радове релевантне за проблематику истражену у дисертацији, при чему је Ненад Вукмировић аутор или коаутор 6 радова.

#### **3.3. Опис и адекватност примењених научних метода**

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећем:

- Детаљно је анализирана постојећа литература на тему анализе и формулисања метода за локализацију. Посебна пажња посвећена је скорашњој литератури која се бави масивним МИМО системима и мрежама (структурама) за хибридни *beamforming*. Прегледом доступне литературе идентификовани су отворени проблеми који постоје у овој области и тичу се пре свега теоријских граница прецизности широкопојасне директне кохерентне локализације, као и формулисања метода које омогућавају овакву локализацију.
- Формиран је модел сигнала на дистрибуираном антенском низу који, за разлику од већине модела у литератури, узима у обзир помаке фазе носиоца LoS компоненти у пријемним каналима. Овим се моделује додатна количина информација о локацији извора радио таласа и омогућује формулисање и симулација алгоритама који је користе.
- Изведене су Крамер-Раове границе прецизности локализације у просторно кохерентном сценарију, за сценарио са познатом секвенцом предајника и за сценарио са случајним Гаусовим сигналом, за 2D и 3D локализацију. Анализирана је зависност изведених граница од системских параметара.
- Формулисани су алгоритми за некооперативну и кооперативну локализацију, различитих типова критеријумских функција и различитих нивоа кохеренције, као и стратегија претраживања која их обједињује. Развијени су симулатори у Matlab-у којим су добијени резултати Монте-Карло симулација, чиме су процењене перформансе предложених метода. Овим су методе упоређене међусобно и са теоријским границама (процењена је њихова статистичка ефикасност).
- Развијена је софтверско-хардверска платформа на бази софтверски дефинисаних радио платформи за експерименталну проверу предложених метода локализације и проверу исправности претпоставки математичког модела. Овом платформом су извршена мерења у различитим условима, у затвореном и на отвореном простору.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада и у сагласности је са циљевима дефинисаним на почетку израде дисертације.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Методе за директну широкопојасну кохерентну локализацију предложене у дисертацији имају значајну примену у концепту локационо потпомогнутих комуникација (*location-aided communication*). Идеја иза овога је да се искористи информација о локацији терминала за оптимизацију комуникационог линка. У милиметарском опсегу је, због великог слабљења линка, пре његовог успостављања потребно да се уређаји међусобно пронађу у простору са довољном прецизношћу да могу да усмере снопове један ка другом. Предложена локализација је посебно битна за примену код координисаног слања сигнала са више дистрибуираних антена базне станице ка терминалу, тако да се сигнали конструктивно саберу на позицији антене терминала, а делимично деструктивно у остатку простора. Слично важи и за *uplink*. За ову примену је неопходна прецизност боља од таласне дужине носиоца. Добитак је велика уштеда у израченој енергији, повећање капацитета система и смањење интерференције.

Захваљујући кохерентној локализацији је могуће прецизно праћење кретања терминала, што омогућава оптимизацију *handover*-а. Такође се кретањем терминал удаљава од једне групе корисника и базних станица, а приближава другој, те тада локализација постаје битна за оптимизацију доделе временско-фреквенцијских ресурса терминалима, поготово када се користи просторни мултиплекс, који се очекује у масивним МИМО системима у 5G. Информација о локацији такође помаже за рутирање у *ad hoc* мрежама.

Поред претходних примена, предложена локализација се може користити и за пружање локационих сервиса, као што су навигација (укључујући и места где није доступан GPS сервис), спречавање судара, аутоматизована возња аутомобила, спасавање људи у ванредним ситуацијама, локационо зависно рекламирање и управљање кретањем робота и дрона.

### **3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад**

Кандидат је приликом израде дисертације показао систематичност, способност за препознавање отворених питања у научној литератури, зрелост при анализи и решавању проблема, као и способност за тимски рад у оквиру истраживања. Посебно треба истаћи да је област локализације у хелијским системима, нарочито у 5G системима, изузетно актуелна, како са теоријског тако и са практичног становишта, и предмет је интензивних истраживања. Кандидат је у дисертацији извео теоријске границе прецизности које показују да је у дистрибуираном кохерентном сценарију достижна прецизност реда промила таласне дужине носиоца. Предложио је методе ML и MUSIC типа за директну кохерентну широкопојасну локализацију које су статистички ефикасне, применио их на дистрибуиране масивне MIMO системе и показао да се њиховом применом могу значајно побољшати перформансе тих система. Поред теоријских резултата дисертација садржи и експерименталне резултате. Доприноси дисертације у овој области су оригинални, савремени и потврђују способност кандидата за самосталан, као и тимски научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

Научни допринос докторске дисертације огледа се у извођењу теоријских граница прецизности локализације у просторно кохерентном сценарију, симулационој анализи перформанси и експерименталној провери предложених метода за локализацију дистрибуираним антенским низом. Конкретно научни доприноси остварени у дисертацији су следећи:

- Моделовани су различити помаци које сигнал претрпи при простирању у слободном простору и у *front-end*-овима тако да се одвојено посматрају фазни помаци настали унутар уређаја и помаци фазе носиоца настали у слободном простору. Ово представља основу за широкопојасну кохерентну локализацију, која се ослања на информацију о локацији садржану и у фазама носиоца и у временским помацима анvelopа сигнала на пријему у циљу постизања веома велике прецизности.
- Изведени су аналитички изрази за Фишерове информационе матрице за границе грешке локализације у просторно кохерентном сценарију, за познат и случајан Гаусов сигнал предајника, за 2D и 3D локализацију. Њиховим инвертовањем се добијају изрази за одговарајуће Крамер-Раове границе. Анализирана је зависност ових граница од системских параметара.
- Предложени су локализациони алгоритми различитог нивоа кохеренције (са нагласком на кохерентним), изведени из критеријума максималне веродостојности или са критеријумском функцијом потпросторног типа, алгоритми за некооперативну или кооперативну локализацију (непознату или познату секвенцу).
- Предложена је хибридна архитектура система за локализацију и комуникацију која садржи и појединачне дистрибуиране референтне антене и њима придружене фазиране антенске решетке. Сврха јој је повећање енергетске ефикасности и уједно омогућавање велике усмерености дијаграма зрачења.

- Предложена је вишестапна стратегија претраживања за ову архитектуру, која обједињује алгоритме различите прецизности (различитог нивоа кохеренције) ради решавања тзв. проблема вишезначности, смањивања нумеричке комплексности и драстичног побољшања прецизности локализације. Стратегија је модуларна, у смислу да у датој етапи постојећи алгоритам може да се замени другим алгоритмом истог типа (али на пример различите нумеричке комплексности или да буде за непознату уместо за познату секвенцу), што омогућава оптимизацију перформанси целокупног процеса локализације. Стратегију одликује и робусност, јер не морају све етапе да се изврше у случају лоших пропагационих услова (наравно, уз смањење прецизности).
- Монте-Карло симулацијама су анализирани перформансе предложених метода, укључујући прецизност, способност решавања проблема вишезначности, отпорност на вишеструко простирање и отпорност на присуство интерферирајућих корисника. Показано је да су предложене кохерентне методе статистички ефикасне.
- Експериментално је проверена исправност претпоставки математичког модела, као и способност предложених метода да функционишу у реалним условима простирања. Захваљујући експериментима су и идентификовани извори помака процене локације услед неидеалности у систему.

Треба напоменути да дисертација представља заокружену целину јер обухвата модел система, модел сигнала, теоријске границе прецизности, методе, резултате симулације и експерименталне резултате.

#### **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

Увидом у циљеве истраживања, полазне претпоставке и остварене резултате констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва значајна питања из проблематике која је анализирана у дисертацији. Изведене теоријске границе прецизности и предложене методе за директну кохерентну локализацију представљају значајан научни допринос у области пасивне радио локализације, нарочито у области масивних ММО система. Анализом резултата приказаних у дисертацији констатујемо да су приказани оригинални и савремени резултати.

#### **4.3. Верификација научних доприноса**

У току истраживачког рада у области теме докторске дисертације Ненад Вукмировић је као аутор или коаутор објавио два рада у међународним часописима са SCI листе (у часописима категорије M22 и M23). Поред тога, резултате истраживања кандидат је објавио у четири рада на конференцијама међународног значаја.

##### **Рад у истакнутом међународном часопису (M22):**

[1] N. Vukmirović, M. Janjić, P. M. Djurić, and M. Erić, "Position estimation with a millimeter-wave massive MIMO system based on distributed steerable phased antenna arrays", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Special Issue on Network Localization*, vol. 2018, no. 1, p. 33, June 2018. (DOI: 10.1186/s13634-018-0553-9, ISSN: 1687-6180, IF=1.961)

##### **Рад у међународном часопису (M23):**

[1] M. Janjić, N. Vukmirović, and M. Erić, "TDOA, Frequency and Phase Offsets Estimation Taking Into Account Carrier Phase of Arrival", *Radioengineering*, vol. 26, no. 4, pp. 1143-1150, Dec. 2017. (DOI: 10.13164/re.2017.1143, ISSN: 1210-2512, IF=0.945)

### **Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):**

- [1] N. Vukmirović, M. Janjić, and P. Ivaniš, "An error correcting technique for performance improvement of OFDM based secondary link", in *International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, Niš, Serbia, Oct. 14-17 2015.
- [2] M. Erić, N. Vukmirović, and M. Janjić, "Calibration of Local Oscillators Mismatch in a Multi-channel Receiving System", in *Proc. IcETRAN 2017*, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017, pp. 1-5. ISBN: 978-86-7466-692-0.
- [3] N. Vukmirović, M. Janjić, and M. Erić, "TOA/TDOA estimation based on carrier phase of arrival," in *5th International Conference on Electrical, Electronics and Computing Engineering (IcETRAN 2018)*, Palić, Serbia, 11-14 June 2018.
- [4] D. Golubović, N. Vukmirović, and M. Erić, "Direct Ranging and Direction of Arrival Estimation of Non-cooperative Radio Transmitters," in *6th International Conference on Electrical, Electronics and Computing Engineering (IcETRAN 2019)*, Srebrno Jezero, Serbia, 3-6 June 2019.

### **Техничко решење категорије M83:**

[1] M. Erić, N. Vukmirović, L. Saranovac, M. Janjić, I. Radovanović, "Laboratorijski model senzorske mreže za združeni prostorno-vremenski spectrum sensing na bazi metode za direktnu lokalizaciju formirane u okviru tehnološkog demonstratora kognitivnog radija korišćenjem USRP SDR platformi," ETF, 2015.

### **Техничко решење категорије M85:**

- [1] N. Vukmirović, M. Manojlović, M. Erić, M. Janjić, "Softver za upravljanje senzorskom mrežom za združeno prostorno-vremenski spectrum sensing realizovane na bazi USRP platformi i obradu dobijenih rezultata," ETF, 2015.
- [2] M. Janjić, M. Erić, N. Vukmirović, "A software package for solution to coexistence of secondary user OFDM and primary user FH signals based on principles of cognitive radio," ETF, 2015.
- [3] M. Erić, N. Vukmirović, M. Janjić, D. Vučić, "New algorithm for calibration of local oscillators mismatch in a multi-channel receiving system," ETF, 2015.
- [4] M. Erić, N. Vukmirović, M. Janjić, D. Vučić, "Novi postupak za merenje zauzetosti radio-frekvencijskog spektra u kontekstu kognitivnog radija," ETF, 2015.

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Докторска дисертација дипл. инж. Ненада Вукмировића под насловом „*Кохерентна директна локализација у дистрибуираним масивним вишеантенским системима*“ у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији је предложен модел сигнала на дистрибуираном пријемном антенском низу у просторно кохерентном сценарију. Изведене су Крамер-Раове границе прецизности локализације у том сценарију и показано је да су реда промила таласне дужине носиоца. Формулисани су кохерентни (који су статистички ефикасни), полукохерентни и некохерентни



алгоритми, за познату и непознату секвенцу, потпросторног и ML типа, а сви они за пасивну директну широкопојасну локализацију. Предложена је хибридна дистрибуирана архитектура масивног MIMO система са смањеним бројем дигиталних канала у односу на број антена, у циљу смањења цене и потрошње енергије, а за велику усмереност снопова. Предложена је и вишетапна стратегија претраживања прилагођена овој архитектури, са циљем истовременог решавања проблема вишезначности, смањења нумеричке комплексности и остваривања прецизности локализације за 2 до 3 реда величине боље од таласне дужине носиоца.

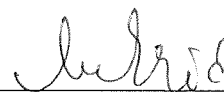
Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је објавио у два рада публикована у међународним часописима са SCI листе и презентовао стручној јавности на међународним конференцијама из шире области електротехнике.

На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата, Комисија констатује да дисертација „**Кохерентна директна локализација у дистрибуираним масивним вишеантенским системима**“ дипл. инж. Ненада Вукмировића садржи оригиналне научне доприносе.

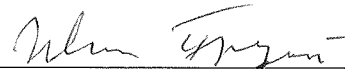
На основу претходног Комисија констатује да је Ненад Вукмировић, дипломирани инжењер електротехнике, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се овај реферат прихвати, и у складу са законском процедуром упуту Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

У Београду, 19.08.2019. године

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Миљко Ерић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Петар Ђурић, Distinguished Professor,  
Department of Electrical and Computer Engineering Stony Brook University, NY, USA