

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Драгана Голубовића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 1290-51 од 12.09.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Драгана Голубовића под насловом

### **Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу**

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

Кандидат, Драган Голубовић, је 25.08.2022. пријавио тему за израду докторске дисертације, под насловом „Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу” (енгл. *High-Resolution Primary Signal Processing in High Frequency Over-The-Horizon Radars*).

Катедра за телекомуникације, на својој седници, одржаној 31.08.2022. године, размотрила је пријаву теме докторске дисертације, коју је поднео кандидат, и утврдила да је надлежна за разматрање пријављене теме докторске дисертације, као и да су достављена пријава и њени прилози суштински и формално одговарајући и комплетни.

Комисија за студије трећег степена је на својој седници, која је одржана 01.11.2022. године, разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације упутила је Наставно-научном већу Електротехничког факултета на усвајање.

Наставно-научно веће је, на својој 879. седници, одржаној дана 08.11.2022. године, донело одлуку (број одлуке 1643 од 18.11.2022.) о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

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

- др Миљко Ерић, ванредни професор у пензији
- др Марија Стевановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

За ментора докторске дисертације предложена је др Мирјана Симић-Пејовић, редовни професор Универзитета у Београду – Електротехничког факултета.

Јавну усмена одбрана теме докторске дисертације одржана је 07.12.2022. године. Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације оценила је усмену одбрану као успешну (оцена „задовољно“).

Комисија за студије трећег степена је на својој седници, која је одржана 10.01.2023. године, разматрала записник Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације са јавне усмене одбране, који је упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој 882. седници, одржаној 17.1.2023. године, донело одлуку о прихватању теме докторске дисертације, и усвојило Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације. За ментора докторске дисертације именована је др Мирјана Симић-Пејовић, редовни професор Универзитета у Београду – Електротехничког факултета.

Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предложену тему докторске дисертације и именовање ментора на седници одржаној 13.02.2023. године (број одлуке 61206-538/2-23).

Кандидат је 20.08.2023. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену.

Комисија са студије трећег степена потврдила је, на својој седници, која је одржана 05.09.2023. године, испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета, на својој седници, која је одржана 12.09.2023. године, именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (број одлуке 1290-51) у саставу:

- др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Марија Стевановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Миљко Ерић, ванредни професор у пензији
- др Петар Ђурић, Distinguished Professor, Department of Electrical and Computer Engineering Stony Brook University, NY, USA
- др Горан Марковић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидат, Драган Голубовић, уписао је докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Телекомуникације, 2012. године. Током студија положио је све испите, предвиђене наставним планом и програмом, са просечном оценом 10. Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Телекомуникације, други пут је уписао 2021. године, где су му одлуком Комисије за студије трећег степена признати сви претходно положени испити. Испунио је, такође, све обавезе

везане за студијски истраживачки рад, које су предвиђене наставним планом и програмом докторских студија.

## 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 Мирјана Симић-Пејовић, редовни професор на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, због научних доприноса у области теме докторске дисертације, посебно у области локализације и позиционирања у радио системима.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Драган Голубовић рођен је 20.03.1984. године у Сарајеву. Основну школу „Бранислав Нушић“ у Београду завршио је 1999. године као носилац Вукове дипломе, где је освајао бројне награде на општинским и градским такмичењима из математике и физике. Трећу Београдску гимназију у Београду, прородно-математичког смера, завршио је 2003. године, као одличан ученик.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду, одсек за телекомуникације и информационе технологије, смер Системско инжењерство, завршио је 2007. године, са просечном оценом 8,00. Дипломски рад под називом „Triple Play технологије“ одбранио је са оценом 10, чиме је стекао академско звање Дипломирани инжењер електротехнике.

На Дипломске академске - мастер студије, смер Системско инжењерство и радио-комуникације уписао се у октобру 2007. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Положио је све предмете предвиђене наставним планом са просечном оценом 8,83. Мастер рад под називом „Побољшање перформанси на *uplink*-у мултикорисничких OFDM система применом кружних адаптивних антенских низова“ одбранио је, почетком 2010. године, са оценом 10, чиме је стекао академско звање Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства – мастер.

На докторским академским студијама на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Телекомуникације, положио је све предмете предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 10. Аутор је више научних и стручних радова, од којих су два објављена у часописима са SCI листе у категоријама M21 и M22.

2017. године завршио је додатне студије – Едукација у области педагогије, психологије и методике наставе (1 семестар/36 ЕСПБ бодова) на Факултету здравствених и пословних студија, Универзитет Сингидунум. Поседује лиценцу за рад у средњошколском образовању.

У периоду 2011-2012. године радио је у компанији НоваТел д.о.о. – предузеће за пројектовање, изградњу и испоруку телекомуникационих система, на пословима монтаже и одржавања *Nokia Siemens* 2G и 3G базних станица за мобилну телефонију, као и линкова произвођача *Aviat Networks*, FMX уређаја произвођача *Sagem*, *BelAir* уређаја за *point-to-point* бежичну комуникацију и *GarettCom* активне опреме. Радио је и на пројектима изведеног стања LAN мрежа, а био је аутор и администратор веб сајта компаније, где се бавио и веб програмирањем и дизајном.

Од 2013. до 2020. године радио је у Средњој школи за информационе технологије (ITHS), као професор електротехничке и ИТ групе предмета: „Програмирање“, „ВЕБ дизајн“, „Рачунарство и информатика“, „Рачунарске мреже и комуникације“, „Рачунарске мреже интернет сервиси“, „Рачунари“, „Дигитална електроника“, „Електротехнички материјали“ и „Техничка документација“. Био је одељењски старешина 2 генерације ученика у Средњој школи за информационе технологије, као и председник Стручног већа стручних предмета.

Био је ментор је на више десетина матурских радова. Аутор је више материјала и скрипти за потребе наставе.

Био је координатор програма на специјалистичком образовању (V степен) и ангажован као професор на предметима „Рачунарски системи“ и „Практична настава“.

Од 2015. године ради као сарадник у настави и асистент на Високој школи за информационе технологије (ITS) за потребе одржавања вежби из предмета „Основе програмирања“ и „Програмерски алати“ на смеровима Информационе технологије и Електронско пословање.

Од 2020. запослен је у Институту VLATACOM као истраживач-сарадник у области ОТНР система. Ради на развоју и реализацији алгоритама за детекцију бродова на мору, као и развоју софтвера за детекцију бродова.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на српском језику, ћириличним писмом. Укупан број страна куцаног текста дисертације, почевши од увода, са укљученом литературом и прилозима, је 180, са укупно 114 слика, 17 табела и 104 библиографске референце. Садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страницу са подацима о ментору и члановима комисије, страницу са поветом, захвалницу, кратак резиме на српском и енглеском језику, садржај, списак слика, списак табела, 7 поглавља, списак коришћене литературе, 3 прилога, биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторске дисертације и изјаву о коришћењу. Наслови поглавља докторске дисертације су:

- Увод
- Модел система и модел сигнала
- Високорезолуциона примарна обрада сигнала у HFSSWR системима
- Оптимизација времена извршавања високорезолуционих алгоритама за примарну обраду сигнала у HFSSWR системима
- Методологија за процену перформанси високорезолуционих алгоритама за примарну обраду сигнала у HFSSWR системима
- Експериментални резултати
- Закључак са правцима даљег истраживања

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација је организована у следећих седам целина:

- 1) У уводној области наведен је предмет докторске дисертације, значај и циљ самог истраживања, а затим и полазне хипотезе, са посебним освртом на остварене научне доприносе. Такође, дат је и кратак преглед стања у овој области, са назначеним референцама из литературе.
- 2) У другом поглављу најпре се дефинишу сви неопходни термини релевантни за ову област и даје се преглед координатних система који се користе. Затим следи извођење математичког модела сигнала на пријемном антенском низу (рад на једној фреквенцији и бифреквенцијски режим рада), где се може сагледати утицај каплинга између *range*, Доплер и азимут домена. У модел су укључени фактори који деградирају перформансе оваквих система. Такође, овде је представљен и модел

система за надгледање бродова на мору, у случају рада на једној фреквенцији, или у бифреквенцијском режиму рада.

- 3) У трећем поглављу дефинишу се високорезолуциони алгоритми за примарну обраду сигнала у HFSWR системима, који су применљиви за различите сценарије, као и за системе који раде на једној фреквенцији или у бифреквенцијском моду рада. У овом делу наведен је и значај високорезолуционих метода. Описан је начин формирања високорезолуционе RD-HR мапе, затим методологија за одређивање параметара високорезолуционог алгоритма за процену RD-HR мапе, фокусирање RD-HR мапе у случају бифреквенцијског режима рада, као и увод у високорезолуционо праћење бродова (*tracking*). Посебан део бави се развојем модела детектора циљева (бродова) са RD-HR мапе помоћу новоразвијених алгоритама за *Image Processing*. Описана је такође и високорезолуциона процена азимута, као и модификована варијанта ове методе, у случају да постоји интерференција. Представљене су и методе за потискивање RFI, јоносферске и интерференције груписане по азимуту.
- 4) Нумеричка оптимизација и практична реализација алгоритама представљене су у четвртном поглављу. Овде су дефинисане неуниформне верзије алгоритама, као и процес *multithreading*-а током извршавања алгоритама, са циљем извршавања новоразвијених алгоритама у реалном времену. Приказани су, такође, и нумерички резултати тестирања у практичним ситуацијама, на основу података аквизираних са радара у оперативној употреби.
- 5) У петом поглављу развијена је методологија за процену перформанси високорезолуционих алгоритама. Такође, наведене су основне особине AIS система, који се користи као референца за оцену перформанси. Овде је представљена и метода за реконструкцију AIS-а, у случају да постоји проблем са његовим нередовним ажурирањем, пошто је и ово веома битно приликом процене перформанси.
- 6) Експериментална анализа представљена је у шестом поглављу, на основу резултата употребе предложених алгоритама у пракси. Представљена је практична реализација система, као и кратак опис развијеног софтвера. Такође, приказана је и упоредна анализа добијених резултата са резултатима примарне обраде сигнала радара WERA, као и резултати у случају бифреквенцијског режима рада.
- 7) У последњем поглављу издвојени су и наглашени најважнији закључци дисертације, а посебно су предложени правци будућих истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу” представља оригиналан научно-истраживачки рад, који је настао као резултат вишегодишњих истраживања кандидата у области обраде сигнала са антенских низова.

У ужем смислу, предмет истраживања предложене теме докторске дисертације је нова високорезолуциона алгоритмика за примарну обраду сигнала у континуалним линеарно фреквенцијски модулисаним (*Frequency-Modulated Continuous Wave - FMCW*) изахоризонтним OTHR (*Over the Horizon Radar*) системима, који раде у HF (*High Frequency*) опсегу, односно HFSWR (*High Frequency Surface Wave Radars*) системима. У оваквим системима, који раде на бази површинског простирања таласа, циљ је детекција бродова на мору, који су иза линије хоризонта, односно одређивање њихових локализационих параметара: азимута, удаљености и Доплерове фреквенције. Проучавањем литературе везане

за постојеће системе, као и литературе у којој се, за потребе локализације, користе високорезолуционе методе, може се закључити да ова алгоритмика представља ново решење у односу на постојеће стање у области примарне обраде сигнала у HFSWR системима.

У дисертацији је показано да се може формулисати високорезолуциони алгоритам за локализацију бродова на мору, чије перформансе достижу и превазилазе перформансе примарне обраде сигнала у постојећим HFSWR системима (у овом случају, радара WERA). Развијени алгоритми се заснивају на високорезолуционој процени *Range-Doppler* (RD-HR) мапе и детекција циљева врши се на RD-HR мапи. Процена смера врши се високорезолуционим алгоритмом MUSIC типа, који се извршава само за циљеве детектоване у RD-HR мапи. Констраст RD-HR мапе, као и детектибилност циљева у RD-HR мапи су значајно бољи у односу на RD-FFT мапу, што је потврђено упоређењем резултата применом високорезолуционог алгоритма и постојећег алгоритма у OTHR радару у оперативној употреби, коришћењем реалних сигнала. Обезбеђена је и боља раздвојивост пикова у 3D кјубу, у циљу побољшања детектибилности циљева. Такође, грешка процене локације бродова, добијене помоћу предложених алгоритама је мања у односу на тренутно коришћене алгоритме за примарну обраду сигнала. Све овде наведено, од самог приступа до добијених резултата, чини дисертацију оригиналном и савременом.

Представљено је такође и оригинално теоријско извођење математичког модела сигнала на пријемном антенском низу, где се може сагледати утицај каплинга између сва 3 домена. За саму примену MUSIC алгоритма полази се од стриктног математичког модела сигнала на пријемном антенском низу, па је овај модел важан за примарну обраду сигнала. Дат је предлог концепта система који ради на једној фреквенцији или у бифреквенцијском режиму рада, где је показано да се могу добити бољи резултати по питању детектибилности циљева.

Формулисан је и нови тип детектора циљева (бродова) са RD-HR мапе, који је прилагођен специфичностима овог типа RD мапа (карактеристикама пикова у њиховим критеријумским функцијама) и који даје боље резултате у односу на CFAR детекторе, који се углавном користе код постојећих система. Такође, предложене су методе за потискивање различитих типова интерференције и демонстрирана је њихова успешност.

Предложени алгоритми су рачунарски врло захтевни и да би били практично применљиви, формулисане су нумерички оптимизоване верзије алгоритама у циљу смањења времена њиховог извршавања. На тај начин показано је да нема потребе за коришћењем неког наменског хардвера, што је и економски исплативије решење.

На крају, да би се тестирала успешност предложених алгоритама, развијена је методологија за поређење перформанси постојећих и новоразвијених алгоритама, као и њихово поређење са AIS-ом у циљу добијања *Radar Operating* карактеристика за сваки од бродова, у реалном мултикорисничком сценарију. Направљена је експериментална студија о успешности новоразвијених алгоритама у реалним условима, где се долази до реалистичне информације како тај радар заправо ради. Предложена методологија је такође базирана на оригиналном приступу, а такође је применљива и у другим системима.

Комплетна методологија, представљена у оквиру ове дисертације, представља савремено и оригинално решење, када је у питању примарна обрада сигнала у HFSWR системима, у смислу побољшања процене локационих параметара циљева од интереса, као и добру основу за даље истраживање. Такође, све овде наведено припада значајној и актуелној области, што се може видети из великог број објављених радова, публикованих у водећим међународним научним часописима.

### 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. Наведене су укупно 102

библиографске референце. Литература садржи најновије радове релевантне за проблематику истражену у дисертацији, при чему је Драган Голубовић аутор 4 рада.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећем:

- Детаљно је анализирана постојећа литература, везана за постојеће HFSSWR системе, у циљу сагледавања предности и недостатака постојећих метода за детекцију/праћење бродова на мору.
- Проучавана је, затим, литература у којој се за потребе локализације користе високорезолуционе методе, као и примене високорезолуционих метода у другим системима (на пример, аутомобилској индустрији).
- Дефинисан је и изведен математички модел сигнала на пријемном антенском низу, где се може сагледати утицај каплинга између *range*, Доплер и азимут домена.
- У наредној фази, циљ је био дефинисање и извођење високорезолуционих алгоритама за примарну обраду сигнала у HFSSWR системима, који су применљиви за различите сценарије, као и код система који раде на једној фреквенцији или у бифреквенцијском режиму рада.
- Симулација успешности појединих алгоритама (који су део алгоритмике за примарну обраду сигнала), као и упоредна анализа са постојећим методама.
- Нумеричка оптимизација алгоритама је извршена, као додаток предложеној алгоритмици, са циљем рада алгоритама у реалном времену. С тим у вези, формиране су нумерички ефикасне неуниформне варијанте алгоритама, а одрађена је и паралелизација алгоритама у циљу њиховог рада на више различитих CPU језгара.
- Извршена је имплементација предложених алгоритама у програмском језику C.
- Направљена је експериментална анализа, коришћењем предложених алгоритама у реалним условима (на терену), као и упоредна анализа резултата са резултатима постојећих алгоритама. Циљ је да се види како предложени алгоритми раде у практичним ситуацијама, односно да ли су применљиви.
- Дефинисана је методологија за процену перформанси високорезолуционих алгоритама, у односу на AIS, односно за верификацију алгоритама.

Примењена методологија у потпуности одговара проблемима који су решавани у оквиру докторске дисертације, као и стандардима научно-истраживачког рада, а у сагласности је са циљевима дефинисаним на почетку израде дисертације.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

HFSSWR системи су предмет интензивних истраживања неколико деценија уназад, како за цивилне тако и за војне примене. Резултат тих истраживања је реализација неколико генерација ових радара за надгледање мора, који се дуги низ година, веома успешно користе у оперативној употреби. Неки од њих су: WERA, CODAR, NIDAR, SECAR, OSMAR и ONERA. Упркос томе, овај тип радара је још увек предмет интензивних истраживања, посебно са аспекта алгоритмике за примерну обраду сигнала, о чему сведочи велики број објављених научних радова.

HFSWR радари традиционално се користе за надгледање мора на даљинама до 300 километара (200 наутичких миља), али и за системе војне намене за рано упозорење (*Early Warning Systems*), посебно за рану детекцију ракетних пројектила и ваздухоплова изведених у *stealt* технологији. У последње време, у многим земљама, које имају излаз на море, велики значај се придаје надгледању Ексклузивно-економске зоне (EEZ), јер се многе нелегалне активности могу обављати иза линије хоризонта, а које су у надлежности Ексклузивно-економске зоне одређене државе. У нелегалне активности спада недозвољен улазак брода на територију неке државе, крађа нафте, која се може одразити на велике економске губитке једне државе, нелегалну трговину и слично. Према томе, предложени алгоритми су применљиви, пре свега, у овим системима.

Међутим, поред надгледања мора, алгоритми су потенцијално применљиви и у друге сврхе, на пример за надгледање и других циљева од интереса, као што су детекција морских струја, ветрова на мору, санти леда, а може да служи и за претрагу и спашавање људи у случају да се брод изгуби са AIS-а, или дође до несреће, затим у рибарству, експлоатацији поморских ресурса, као и детектовање цунамија итд. Такође, примена алгоритама, овог типа, је и предмет интензивних истраживања у FMCW радарима за аутомобилску индустрију.

На основу свега наведеног, може се закључити да је тема веома актуелна, а да предложена методологија представља решење у смислу побољшања процене локализационих параметара, као и добру основу за даље истраживање, а да је, поред улоге за надгледање бродова, применљива и у друге сврхе.

### 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. На основу приказа резултата научно-истраживачког рада, закључујемо да је кандидат веома посвећен истраживању комплексне и веома актуелне области, а то је примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу, те је учинио значајне напоре да се детаљно упозна са самом облашћу и оствари запажене резултате.

Научни доприноси верификовани су кроз неколико научних и стручних радова, од којих су два објављена у часописима са SCI листе у категоријама M21 и M22. Кандидат је као први аутор објавио рад у MDPI часопису *Sensors* (категорија рада: M21 (IP=3.576)), под називом: *High-Resolution Doppler and Azimuth Estimation and Target Detection in HFSWR: Experimental Study*. Посебно се издваја овај рад, који представља потврду и верификацију претходног рада кандидата, уз још неколико радова са међународних конференција, који се односе на тему.

На основу опредељења за тему из области којом се бави, објављених научних радова, константног рада у вези са темом у лабораторијским и теренским условима, начина и оригиналношћу на који је написана докторска дисертација, са евидентним научним доприносима, Комисија констатује да је кандидат достигао ниво самосталности неопходан за даљи самосталан, као и тимски научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Тестирањем постављених хипотеза, користећи методе математичког моделирања, симулације и експерименталне методе, на основу добијених резултата, дошло се до закључака који су



оправдали циљ истраживања. Посебно је важно истаћи научне и стручне доприносе ове дисертације, које се могу класификовати у неколико тачака.

- Један од главних доприноса је дефинисање високорезолуционих алгоритама за добијање RD-HR мапе (униформна и нумерички ефикасна неуниформна варијанта алгоритама) за системе који раде на једној фреквенцији или у бифреквенцијском режиму рада.
- Такође, допринос дисертације је и извођење модела сигнала на пријемном антенском низу, без било каквих апроксимација, где се може сагледати утицај каплинга између *range*, Доплер и азимут домена.
- Затим, допринос представља и дефинисање и предлог архитектуре комплетног радарског система за надгледање бродова на мору, као и дефинисање предности RD-HR мапе у погледу резолуционих својстава, контраста мапе и могућности боље детектибилности и раздвојивости циљева, у односу на RD-FFT мапу.
- Дефинисање високорезолуционог алгорита за процену азимута са компензацијом Доплерове фреквенције, која се ради пре процене азимута, је такође један од важнијих доприноса.
- Нови алгоритам за детекцију који долази из области *Image processing*-а, и чија је функција кернела прилагођенија морфологији пикова критеријумске функције, у односу на постојеће CFAR детекторе, је такође један од доприноса.
- Допринос представља и предлог оптимизације алгоритама, са циљем да се не користи неки додатни хардвер (економски исплативије и са становишта сложености једноставније).
- И на крају, један од најважнијих доприноса представља и развој методологије за процену перформанси високорезолуционих алгоритама, на нивоу примарне обраде сигнала (ниво детекција), где се може утврдити тачност локализације бродова у поређењу са AIS подацима, који представљају референцу за поређење.

#### 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. Значај истраживања је у побољшању процене локализационих параметара бродова на мору, који су детектибилнији употребом новоразвијених алгоритама, у односу на постојеће алгоритме за примарну обраду сигнала, а да је, истовремено, грешка процене позиције бродова мања.

Кандидат је у дисертацији извео математички модел сигнала на пријемном антенском низу, и предложио високорезолуционе методе, које представљају ново решење у односу на постојеће стање у области обраде сигнала код HFSSWR система и показао да се, њиховом применом, могу побољшати перформансе постојећих система. Поред теоријских резултата, дисертација садржи и експерименталне резултате. Комисија је стекла уверење да је докторска дисертација веома добро теоријски и емпиријски утемељена, као и да је кандидат добро упознат са проблематиком високорезолуционе примарне обраде сигнала код изагоризонтних радара у високофреквентном опсегу. Имајући у виду несумљив значај и актуелност предмета истраживања, као и постављених циљева, Комисија је закључила да резултати, који су представљени у оквиру ове докторске дисертације имају низ, како научних, тако и стручних

доприноса, те се са високом поузданошћу може очекивати да ће одређени резултати, који су део докторске дисертације, представљати референцу која ће бити корисна за истраживаче који се баве овом облашћу, али и за генерални развој примарне обраде сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу у пракси.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживачког рада у области теме докторске дисертације Драган Голубовић је као аутор или коаутор објавио 2 рада у међународним часописима са SCI листе (у часописима категорије M21 и M22). Поред тога, резултате истраживања кандидат је објавио у 4 рада на конференцијама међународног значаја и 2 рада на домаћим конференцијама.

#### Радови у врхунском међународном часопису (M21):

- [1] **D. Golubović**, M. Erić, and N. Vukmirović, "High-Resolution Doppler and Azimuth Estimation and Target Detection in HFSWR: Experimental Study," *Sensors* vol. 22, 3558, 2022. (DOI: <https://doi.org/10.3390/s22093558>, ISSN: 1424-8220, IP: 3.576, **M21**)

#### Радови у истакнутом међународном часопису (M22):

- [1] M. Mišković, N. Vukmirović, **D. Golubović**, and M. Erić, "Method for Direct localization of Multiple Impulse Acoustic Sources in Outdoor Environment," *Electronics* vol. 11, 2509, 2022. (DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics11162509>, ISSN: 2079-9292, IP: 2.397, **M22**)

#### Часописи националног значаја (M50):

- [1] M. Nikolić, M. Deljanin, P. Sibinović, **D. Golubović**, and S. Stevović, "Software Tool for Work and Occupational Radon Health Risk Modeling," *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJEM)*, Vol. 9, No. 1, pp. 25-30, 2018. (ISSN: 2217-2661, **M53**)

#### Међународне конференције (M33):

- [1] **D. Golubović**, M. Erić, N. Vukmirović, and M. Simić-Pejović, "Method for Noise Subspace Determination in HFSWR's High-Resolution Range-Doppler Map Estimation," *10<sup>th</sup> International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN 2023)*, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1-6, 2023. (DOI: <https://doi.org/10.1109/IcETRAN59631.2023.10192141>, **M33**)
- [2] **D. Golubović**, M. Erić, and N. Vukmirović, "High-Resolution Method for Primary Signal Processing in HFSWR," *30th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2022)*, pp. 912-916, Belgrade, Serbia, 29 Aug - 2 Sep 2022. (ISBN: 978-1-6654-6797-1, **M33**)
- [3] **D. Golubović**, N. Vukmirović, Z. Lončarević, M. Marković, and M. Erić, "Execution Time Improvement using CPU Parallelization and Non-Uniform High-Resolution Range-Doppler Map Estimation in HFSWR," *9th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN 2022)*, pp. 717-722, Novi Pazar, Serbia, 6 - 9. june 2022. (ISBN: 978-86-7466-930-3, **M33**)

- [4] **D. Golubović**, N. Vukmirović, and M. Erić, "Direct Ranging and Direction of Arrival Estimation of Non-cooperative Radio Transmitters," *6th International Conference on Electrical, Electronics and Computing Engineering (IcETRAN 2019)*, pp. 994-999, Srebrno Jezero, Serbia, 3-6 June, 2019. (ISBN: 978-86-7466-785-9, **M33**)

#### Националне конференције (M63):

- [1] **D. Golubović**, "Primena kružnih adaptivnih antenskih nizova za potiskivanje interferencije na uplink-u multikorisničkih OFDM sistema," *INFOTEH-JAHORINA*, Vol. 10, Ref. B-II-9, pp. 168-172, 16-18 March, 2011. (ISBN: 978-99938-624-6-8, **M63**)
- [2] **D. Golubović**, "Uplink multipath suppression for multiuser OFDM systems using adaptive circular antenna arrays," 19th Telecommunications Forum TELFOR Proceedings of Papers, pp. 473-477, 22-24 Nov. 2011. (<https://doi.org/10.1109/TELFOR.2011.6143589>, ISBN: 978-1-4577-1498-6, **M63**)

#### Техничка решења (M85):

- [1] N. Vlahović, K. Matović, N. Stojković, **D. Golubović**, M. Erić, M. Perić, and V. Orlić, "Metode za verifikaciju rada i ocenu performansi detekcionih algoritama za praćenje ciljeva radara za posmatranje izvan linije horizonta," *tehničko rešenje*, Institut Vlatakom, 2022. (**M85**)

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација дипл. инж. Драгана Голубовића под насловом „**Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу**” 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.

Предложена тема је по својој идеји, дубини анализе и суштини, оригинална и до сада није обрађивана. Имајући у виду значај, актуелност и комплексност дате проблематике, Комисија констатује да предложена тема представља захтевно, али и атрактивно истраживачко подручје. Сви резултати теоријске и емпиријске анализе, који су приказани у дисертацији, доприносе унапређењу алгоритмике за примарну обраду сигнала у HFSWR системима, која се користи код постојећих радара и која је приказана у доступној литератури. У овом тренутку, на основу тренутног интересовања, како научника широм света, тако и потенцијалних корисника оваквих система, постоје назнаке да ће ова област бити и даље предмет интензивних истраживања, што све резултате, представљене у овој дисертацији, и саму област, чини веома актуелном.


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 **„Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу”** дипл. инж. Драгана Голубовића садржи оригиналне научне доприносе.

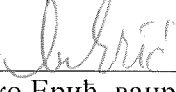
На основу претходног Комисија констатује да је дипл. инж. Драган Голубовић испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија са задовољством предлаже да се овај реферат прихвати и да се докторска дисертација под називом **„Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу”** кандидата Драгана Голубовића прихвати, изложи на увид јавности и у складу са законском процедуром упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.


У Београду, 27.09.2023. године


#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

др Марија Стевановић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Миљко Ерић, ванредни професор у пензији

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

  
др Горан Марковић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет