

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Драгана Голубовића, мастер инж. електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 1643 од 18.11.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Драгана Голубовића, мастер инж. електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом **„Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу”**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Драган Голубовић рођен је 20.03.1984. године у Сарајеву, република Босна и Херцеговина. 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. 2003. године завршио је Трећу Београдску гимназију у Београду, прородно-математичког смера, као одличан ученик.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду, одсек за текекомуникације и информационе технологије, смер Системско инжењерство, завршио је у октобру 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 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 са просечном оценом 10,00. Аутор је више научних и стручних радова, од којих су два

објављена у часописима са SCI листе у категоријама M21 и M22, а као коаутор учествовао је у изради и 2 техничка решења.

2017. године завршио је додатне студије – Едукација у области педагогије, психологије и методике наставе (1 семестар/36 ECTS 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. Као инжењер монтаже, одржавања и пружања техничке подршке корисницима, био је ангажован 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 бежичну комуникацију и GarrettCom активне опреме. Израдио је више пројеката изведеног стања за LAN мреже, а радио је и на одржавању локалне рачунарске мреже предузећа (firewall, свичеви, рутери, рачунари, сервер), као и mail сервера предузећа. Поседује сертификат произвођача BelAir (за бежичне телекомуникационе уређаје). Био је аутор и администратор web сајта компаније, где се бавио и веб програмирањем и дизајном.

2013. године засновао је радни однос у Средњој школи за информационе технологије ITNS, и до 1.10.2020. радио је 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. Више пута учествовао је реализацији пројекта „Зимска школа програмирања“. Аутор је више материјала и скрипти за потребе наставе.

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

Од летњег семестра 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 и ради на научно-истраживачким пројектима, као развојни инжењер у области OTHR система. Ради на развоју и реализацији алгоритама за детекцију бродова на мору, као и развоју софтвера за детекцију бродова.

Служи се енглеским и француским језиком.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је на докторским академским студијама на Електротехничком факултету Универзитета у Београду (модул Телекомуникације) положио све предмете предвиђене наставним планом са просечном оценом 10:

1. Теорија телекомуникационог саобраћаја (9 ЕСПБ бодова)
2. Просторно-временска обрада сигнала (9 ЕСПБ бодова)
3. Системи мобилних радио веза (9 ЕСПБ бодова)
4. Савремене радио технологије (9 ЕСПБ бодова)
5. Принципи модерних телекомуникација (9 ЕСПБ бодова)
6. Обрада сигнала са микрофонских низова (9 ЕСПБ бодова)

7. Моделирање и симулација радио-мрежа (9 ЕСПБ бодова)
8. Когнитивне радио мреже (9 ЕСПБ бодова)
9. Бежични телекомуникациони системи (9 ЕСПБ бодова)
10. Увод у научни рад (6 ЕСПБ бодова)

Такође, одрадио је и преостале обавезе у току докторских студија:

1. Студијски истраживачки рад I у вези докторске тезе (24 ЕСПБ бодова)
2. Студијски истраживачки рад II у вези докторске тезе (24 ЕСПБ бодова)

Предмет истраживања у Студијским истраживачким радовима I и II био је развој нове високорезолуционе алгоритмике за примарну обраду сигнала у OTHR (*Over the Horizon Radar*) радарима. Алгоритми су развијани са циљем да се достигну и превазиђу перформансе примарне обраде сигнала у постојећим OTHR радарима.

У периоду од претходне 2 године, кандидат је запослен у Институту VLATACOM и ради на научно-истраживачким пројектима као развојни инжењер у области OTHR система. Ради на развоју и реализацији алгоритама за детекцију бродова на мору, као и развоју софтвера за детекцију бродова, где практично ради на истраживању као и верификацији рада алгоритама у реалним условима.

Аутор је 8 научних и стручних радова, од којих су два објављена у часописима са SCI листе у категоријама M21 и M22, а као коаутор учествовао је у изради и 2 техничка решења. Аутор је и 2 некатегорисана рада из области IT технологија у образовању.

Списак објављених радова који доказују афинитет кандидата за рад на приложеној теми:

Радови у часописима са SCI листе, категорија M20:

- 1.1. **Golubović, D.**; Erić M.; Vukmirović, N. *High-Resolution Doppler and Azimuth Estimation and Target Detection in HFSWR: Experimental Study. Sensors* **2022**, 22, 3558. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22093558>, ISSN: 1424-8220, IP: 3.576, M21.
- 1.2. Mišković, M.; Vukmirović, N.; **Golubović, D.**; Erić, M. *Direct localization of impulse sound sources in a multi-source environment. Electronics* **2022**, 11, 2509. <https://doi.org/10.3390/electronics11162509>, ISSN: 2079-9292, IP: 2.397, M22.

Радови у часописима ван SCI листе, категорија M50:

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

Радови са међународних конференција, категорија M30:

- 3.1. **Golubović, D.**; Erić M.; Vukmirović, N. *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.

- 3.2. **Golubović, D.**; Vukmirović, N.; Lončarević, Z.; Marković, M.; Erić M. *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 (IcETAN 2022), pp. 717-722, Novi Pazar, Serbia, 6 - 9. june 2022. ISBN: 978-86-7466-930-3, **M33**.
- 3.3. **Golubović, D.**; Vukmirović N.; Erić M. *Direct Ranging and Direction of Arrival Estimation of Non-cooperative Radio Transmitters*, 6th International Conference on Electrical, Electronics and Computing Engineering (IcETAN 2019), pp. 994-999, Srebrno Jezero, Serbia, 3-6 June, 2019, ISBN: 978-86-7466-785-9, **M33**.

Радови са домаћих конференција, категорија M60:

- 4.1. **Golubović, D.** *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**.
- 4.2. **Golubović D.**: *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**.

На основу одлуке Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 1643 од 18.11.2022. године, именовани су чланови Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом „Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу”, у следећем саставу:

1. др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Миљко Ерић, ванредни професор у пензији
3. др Марија Стевановић, редовни професор Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

За ментора докторске дисертације предложена је др Мирјана Симић-Пејовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације (докторски испит) одржана је 07.12.2022. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Комисија је оценила кандидату одбрану теме оценом „задовољио”.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу приказа резултата досадашњег научно-истраживачког рада и радног искуства, закључујемо да је кандидат Драган Голубовић, мастер инж. електротехнике и рачунарства, 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.

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 (катеорија 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, као и формални услов за пријаву теме докторске дисертације.

На јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације (докторски испит), која је одржана 07.12.2022. године, кандидат је детаљно образложио предмет и циљ докторске дисертације, основне хипотезе од којих ће се полазити у истраживању, истраживачке методе које ће бити коришћене, детаљну структуру, очекиване резултате, као и научни и стручни допринос дисертације.

На основу опредељења за тему из области којом се бави, објављених научних радова, константног рада у вези са темом у лабораторијским и теренским условима, одличног образложења теме докторске дисертације и успешне јавне одбране, закључујемо да је кандидат способан за самосталан научни рад, да може да изврши планирана истраживања у целости, као и да испуњава све услове за пријаву теме докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене теме докторске дисертације биће нова високорезолуциона алгоритмика за примарну обраду сигнала у континуалним линеарно фреквенцијски модулисаним (*Frequency-Modulated Continuous Wave* - FMCW) изахоризонтним OTHR (*Over the Horizon Radar*) радарима, који раде у HF (*High Frequency*) опсегу, односно HFSWR (*High Frequency Surface Wave Radars*) радарима. У оваквим системима, који раде на бази површинског простирања таласа, циљ је детекција бродова на мору, који су иза линије хоризонта, односно одређивање локализационих параметара: азимута, удаљености и Доплерове фреквенције. Алгоритми ће бити развијани са циљем да се достигну и превазиђу перформансе примарне обраде сигнала у постојећим HFSWR радарима (на пример, радара WERA) у погледу детектибилности циљева. Развијени алгоритми ће се заснивати на високорезолуционој процени *Range-Doppler* (RD-HR) мапе коришћењем задатог броја фрејмова у изабраном интеграционом периоду. Детекција циљева треба да се врши на RD-HR мапи. Процена смера се врши високорезолуционим алгоритмом MUSIC (*MUltiple Signal Classification*) типа који се извршава само за циљеве детектоване у RD-HR мапи. Алгоритми су високорезолуциони у *Doppler* и азимут домену, а рачунски високорезолуциони у *range* домену. Констраст RD-HR мапе, као и детектибилност циљева у RD-HR мапи очекује се да су значајно бољи у односу на RD-FFT мапу, што би требало потврдити упоређењем резултата применом високорезолуционог алгоритма и постојећег алгоритма у неком OTHR радару у оперативној употреби, коришћењем реалних сигнала.

Примарна обрада сигнала у HFSWR радарима спада у категорију вишедимензионалне обраде сигнала у временско-фреквенцијско-просторно-кодном домену. Теоријски оквир представља 3D спектрална анализа временских узорака пријемног сигнала у *fast-slow-space* домену, којом се добија 3D кјуб у *range*-Доплер-азимут домену. У постојећим HFSWR радарима 3D кјуб се најчешће формира применом 3D Фуријеове трансформације (што имплицира да линеарни антенски низови буду са еквидистантним размаком између антена). Кључна ограничења примене класичне Фуријеове трансформације за формирање 3D кјуба везана су за резолуциона својства Фуријеове трансформације, која су одређена трајањем опсервационих интервала у *fast* домену (трајањем *chirp* сигнала), трајањем опсервационих интервала у *slow* домену (период интеграције) и бројем узорака у просторном домену (бројем антена у антенском низу). Другим речима, кључни проблем примене Фуријеове трансформације је везана за нераздвојивост спектралних компоненти сигнала унутар Рејлијеве резолуционе ћелије. Предмет истраживања биће развој високорезолуционих метода за примарну обраду сигнала у HFSWR радарима, који за иста трајања опсервационих интервала у *fast,slow* и просторном домену могу да обезбеде бољу раздвојивост пикова у 3D

кјубу, у циљу побољшања детектибилности циљева и свеукупних перформанси HFSWR радара.

Истраживање ће се бавити такође и развојем модела детектора циљева (бродова) са RD-HR мапе помоћу новоразвијеног алгоритма за *Image Processing*. Модел би требало да буде прилагођен специфичностима овог типа RD мапа (карактеристикама пикова у њиховим критеријумским функцијама). Такође, алгоритми су рачунарски врло захтевни и да би били практично применљиви, потребно је формулисати нумерички оптимизоване верзије алгоритама у циљу смањења времена њиховог извршавања. Предмет истраживања биће и анализа перформанси алгоритама за различите конфигурације антенских низова на пријему, који раде на једној фреквенцији или у бифреквенцијском моду рада.

Циљ истраживања је развој алгоритмике за примарну обраду сигнала у HFSWR радарима ради боље детекције и естимације локализационих параметара (географских координата, радијалне брзине кретања) циљева на мору, на основу којих се реализује праћење трајекторије (*tracking*) детектованих циљева. Детекција циљева и естимација локализационих параметара циљева представља веома сложен технички проблем због присуства јаких интерференција у пријемном сигналу (интерференција услед клатера мора, јоносферска интерференција, екстерна интерференција итд). Посебан технички проблем у овом типу радара представља потискивање директне компоненте таласа (сигнал који се прима директно са предајне антене). Из наведених разлога архитектуре ових радара се пројектују тако да радари имају што бољу осетљивост, што већи динамички опсег пријемника, и што веће системско појачање.

Следеће, циљ истраживања је формулисање модела сигнала на пријемном антенском низу који укључује реалистичан просторно-временски модел клатера мора и интерференције. Континуални HFSWR радари користе линеарне антенске низове на пријемној старни (типично 16 антена у еквидистантном антенском низу) и *Yagi* антене, логпериодичне антене и антенске низове на предаји (типично 4-елементни антенски низ са две активне и две пасивне антене у низу). У литератури се углавном користе упрошћени модели, где су уведене одређене апроксимације, док је овде циљ да се изведе модел сигнала где се може уочити и каплинг између сва 3 домена од интереса, а то су: растојање, Доплер и азимут. У модел је потребно укључити и факторе који деградирају перформансе оваквих система, као што су: јоносферска интерференција, клатер мора и адитивни шум. Следећи корак је да се предложи архитектура (модел система) помоћу кога ће се вршити локализација бродова на мору (рад на једној фреквенцији, као и бифреквенцијски мод рада). Затим је потребно развити високорезолуционе алгоритме са циљем да се достигну и превазиђу перформансе примарне обраде сигнала у постојећим OTHR радарима (на пример, радара WERA) у погледу детектибилности циљева, са задатом вероватноћом детекције и задатом вероватноћом лажних аларма. Потребно је такође развити и стратегију за поређење перформанси постојећих и новоразвијених алгоритама, симулационом анализом. На крају се очекује имплементација алгоритама у неком од програмских језика, и њихова нумеричка оптимизација за потребе рада на терену, у реалним условима. Један од главних циљева је и експериментална студија о успешности новоразвијених алгоритама у реалним условима.

Тема је веома актуелна, и све указује да ова методологија може предствљати решење у смислу побољшања локализационих параметара, као и добру основу за даље истраживање. Предложена тема припада значајној области, што се може видети из великог број објављених радова, од којих су неки дати у даљем тексту:

[1] Ponsford, A.M. Surveillance of the 200 nautical mile Exclusive Economic Zone (EEZ) using high frequency surface wave radar. *Can. J. Remote Sens.* **2001**, 27, 354–360.

[2] Dzvonkovskaya, A.; Gurgel, K.; Rohling, H.; Schlick, T. Low Power High Frequency Surface Wave Radar Application for Ship Detection and Tracking. In Proceedings of the International Conference on Radar, Adelaide, Australia, 2–5 September 2008.

[3] Ponsford, A.M.; Wang, J. A review of high frequency surface wave radar for detection and tracking of ships. *Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci.* **2010**, *18*, 409–428.

[4] Headrick, J.M.; Thomason, J.F. HF radars: Applications of high-frequency radar. *Radio Sci.* **1998**, *33*, 1045–1054.

[5] Menelle, M.; Auffray, G.; Jangal, F. Full Digital High Frequency Surface Wave Radar: French Trials in the Biscay Bay. In Proceedings of the 2008 International Conference on Radar, Adelaide, Australia, 2–5 September 2008.

[6] Hongbo, L.; Yiyang, S.; Yongtan, L. Estimation of detection threshold in multiple ship target situations with HF ground wave radar. *J. Syst. Eng. Electron.* **2007**, *18*, 739–744.

[7] Grosdidier, S.; Baussard, A. Ship detection based on morphological component analysis of high-frequency surface wave radar images. *IET Radar Sonar Navig.* **2012**, *8*, 48–53.

[8] Kim, B.; Jin, Y.; Lee, J.; Kim, S. High-Efficiency Super-Resolution FMCW Radar Algorithm Based on FFT Estimation. *Sensors* **2021**, *21*, 4018.

[9] Kim, B.; Jin, Y.; Lee, J.; Kim, S. FMCW Radar Estimation Algorithm with High Resolution and Low Complexity Based on Reduced Search Area. *Sensors* **2022**, *22*, 1202.

[10] Seo, J.; Lee, J.; Park, J.; Kim, H.; You, S. Distributed Two-Dimensional MUSIC for Joint Range and Angle Estimation with Distributed FMCW MIMO Radars. *Sensors* **2021**, *21*, 7618.

Аутори у [1] баве се анализом перформанси HFSWR радара који се користе за надгледање поморског саобраћаја до 200 наутичких миља. Прате се максимална зона покривања, као и могућност детекције/праћења бродова.

Аутори у [2], [3] и [4] баве се различитим аспектима у HFSWR системима, како теоријским, тако и практичним. Из њих се могу видети неке од практичних имплементација постојећих система, као и анализа резултата из праксе. Посебно је корисна анализа постојећих радара WERA.

Аутори у [5] дају процену могућности детекције у HFSWR системима. Рад се бави развојем ONERA система који имају дигитално генерисање сигнала и пријем, радне станице које имају огромну процесорску моћ, као и предајнике који предају сигнал мањом снагом. Рад показује да је могућа детекција бродова преко линије хоризонта, али максимални домети иду до 170 km.

У [6] је приказана анализа CFAR метода за детекцију, са разним подваријантама, и овај тип детектода се најчешће користи у FMCW HFSWR системима.

Аутори у [7], с друге стране, баве се другачијим приступом детекције – морфолошким карактеристикама радарске слике.

Аутори у [8], [9] и [10] баве се високорезолуционим методама који се користе у HFSWR системима. Ови радови представљају мотивацију за истраживање у области локализације бродове користећи високорезолуциони приступ.

3. Полазне хипотезе

Полазећи од дефинисаног предмета и циља истраживања, приликом израде докторске дисертације кандидат намерава да тестира следеће хипотезе:

- 1) Полазна хипотеза је да се може формулисати високорезолуциони алгоритам за локализацију бродова на мору, чије перформансе достижу и превазилазе перформансе примарне обраде сигнала у постојећим HFSWR радарима (на пример, радара WERA) у погледу детектибилности циљева. Такође, грешка процене локације брода, добијене помоћу предложених алгоритама за локализацију, је мања у односу на тренутно коришћене алгоритме.
- 2) Претпоставка је да постоји предност RD-HR мапе у погледу резолуционих својстава, контраста мапе и могућности детектибилности циљева, у односу на RD-FFT мапу. Радвојивост циљева у Доплер и азимут домену је боља, ако се користе високорезолуциони алгоритми за детекцију, у односу на тренутно коришћене алгоритме.
- 3) Хипотеза је да се може формулисати алгоритам за детекцију циљева на RD-HR мапи, који је прилагођен специфичностима овог типа RD мапа (карактеристикама пикова у њиховим критеријумским функцијама) и који даје боље резултате у односу на CFAR (*Constant False Alarm Rate*) детекторе, који се углавном користе код ових система.
- 4) Претпоставка је да се може формирати алгоритам за процену азимута, са антенским низом од 16 антена, који ће имати тачност реда 0.2 степена и чија нумеричка сложеност не представља препреку за његову имплементацију у реалном времену.
- 5) Пошто су високорезолуциони алгоритми нумерички захтевни, претпоставка је да се може формирати нумерички оптимизован алгоритам који може да ради у реалном времену, а да при томе, перформансе алгоритма остану упоредиве са перформансама у случају када се не ради оптимизација. Такође, високорезолуциони алгоритми за локализацију бродова, уз нумеричку оптимизацију, могу радити у реалном времену, без потребе за додатним хардвером, као што су DSP (*Digital Signal Processing*) картице, графичке картице и слично.
- 6) Хипотеза је да се у бифреквенцијском моду рада, употребом предложених алгоритама, могу добити бољи резултати по питању детектибилности бродова, у односу на случај када систем ради на једној фреквенцији.
- 7) Хипотеза је да се сукцесивне детекције бродова од интереса уланчавају, пролазећи кроз све сегменте, те да постоји преклапање контура критеријумских функција сукцесивних детекција у RD-HR мапи, што је може бити основа за формулисање критеријума конзистентности детекција и искорак ка новој верзији трекинга базираног на RD-HR мапи.

4. Научне методе истраживања

У функцији тестирања предложених хипотеза, кандидат предлаже коришћење више метода истраживања, карактеристичних за дату област:

- 1) Теоријско извођење математичког модела сигнала на пријемном антенском низу, где се може сагледати утицај каплинга између сва 3 домена од интереса, а то су: растојање, Доплер и азимут. У модел је потребно укључити и факторе који деградирају перформансе оваквих система, као што су: јоносферска интерференција, клатер мора и адитивни шум.
- 2) Дефинисање високорезолуционих алгоритама, различитог типа, за потребе локализације бродова на мору.

- 3) Симулације за анализу математичког модела, затим перформанси предложених алгоритама, као и за приказ добијених резултата и њихову верификацију.
- 4) Експерименталне методе да би се видело како предложени алгоритми раде у практичним ситуацијама, односно да ли су применљиви у пракси.

При истраживању се очекује анализа и поређење различитих типова алгоритама за примарну обраду сигнала, тестирање резултата њихове детектибилности, као и прецизност.

5. Очекивани научни допринос

На јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације (докторски испит), која је одржана 07.12.2022. године, кандидат је детаљно образложио научни и стручни допринос дисертације.

- Један од главних доприноса биће 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 моду.
- Очекивани допринос дисертације биће 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, 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.
- Такође, допринос ће представљати и дефинисање високорезолуционог алгоритма за процену азимута са компензацијом Доплерове фреквенције која се ради пре процене азимута.
- 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, биће такође један од доприноса.
- На крају, допринос ће представљати и предлог оптимизације алгоритама, са циљем да се не користи неки додатни хардвер (економски исплативије и са становишта сложености једноставније).

Значај истраживања је у обезбеђивању локализације бродова на мору, који би требало да буду детектибилнији употребом новоразвијених алгоритама, у односу на постојеће алгоритме за примарну обраду сигнала, а да је, истовремено, грешка процене позиције бродова мања.

Високорезолуционе методе, које ће бити предмет истраживања докторске дисертације, представљају ново решење у односу на постојеће стање у области обраде сигнала код HFSWR радара. Тема је веома актуелна, па су HFSWR радарски предмет интензивних истраживања неколико деценија уназад, како за цивилне, тако и за војне примене.

Кроз презентацију и одговоре кандидата на постављена питања, Комисија је стекла уверење да је предложена тема докторске дисертације веома добро теоријски и емпиријски утемељена, као и да је кандидат добро упознат са проблематиком високорезолуционе примарне обраде сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу. Имајући у виду несумљив значај и актуелност предмета истраживања, као и постављених циљева, Комисија је закључила да ова тема представља веома добру полазну основу за спровођење планираних истраживања и израду докторске дисертације са адекватним, како научним, тако и стручним доприносима.

6. План истраживања и структура рада

Редослед истраживања и структура предвиђених фаза и активности у истраживању може се поделити на неколико корака:

- 1) Проучавање литературе везане за постојеће HFSWR системе у циљу сагледавања постојећих метода за детекцију/праћење бродова на мору.
- 2) Проучавање литературе у којој се за потребе локализације користе високорезолуционе методе, као и друге примене високорезолуционих метода.
- 3) Дефинисање и извођење новог математичког модела сигнала на пријемном антенском низу, где се може сагледати утицај каплинга између *range*, Доплер и азимут домена.
- 4) Дефинисање и извођење високорезолуционих алгоритама за примарну обраду сигнала код HFSWR радара, који су применљиви за различите сценарије, као и код система који раде на једној фреквенцији или у бифреквенцијском моду рада.
- 5) Симулација процеса локализације коришћењем предложених алгоритама и њихова упоредна анализа.
- 6) Нумеричка оптимизација алгоритама.
- 7) Имплементација предложених алгоритама у неком од програмских језика.
- 8) Експериментална анализа коришћењем предложених алгоритама у пракси, као и њихова упоредна анализа и поређење са резултатима постојећих алгоритама.
- 9) Дефинисање методологије за поређење перформанси алгоритама, као и верификације алгоритама.
- 10) Дефинисање даљих праваца истраживања везаних за примарну обраду сигнала у поменутом или проширеном сценарију.

Структура предложене дисертације пратиће наведени план истраживања.

- Најпре ће се дефинисати сви неопходни термини релевантни за дату област, а затим следи извођење новог математичког модела сигнала на пријемном антенском низу, где се може сагледати утицај каплинга између *range*, Доплер и азимут домена. У овом делу биће наведен и значај високорезолуционих метода. Значи, биће представљен комплетан модел сигнала. У модел је потребно укључити и факторе који деградирају перформансе оваквих система, као што су: јоносферска интерференција, клатер мора и адитивни шум.
- Следећа област односиће се на модел система, где ће такође бити описани сви релевантни појмови, као и предлог архитектуре комплетног радарског система за надгледање бродова на мору, за системе који раде на једној фреквенцији, или у бифреквенцијском моду рада.
- Главни део у овој структури представљаће дефинисање и извођење високорезолуционих алгоритама за примарну обраду сигнала код HFSWR радара, који су применљиви за различите сценарије, као и код система који раде на једној фреквенцији или у бифреквенцијском моду рада. Развијени алгоритми ће се заснивати на високорезолуционој процени *Range-Doppler* (RD-HR) мапе, коришћењем задатог броја фрејмова у изабраном интеграционом периоду. Детекција циљева треба да се врши на RD-HR мапи. Процена смера ће се вршити високорезолуционим алгоритмом MUSIC (*MUltiple Signal Classification*) типа који се извршава само за циљеве детектоване у RD-HR мапи. Алгоритми су високорезолуциони у *Doppler* и азимут домену, а рачунски високорезолуциони у *range* домену.

- Посебан део бавиће се на развојем модела детектора циљева (бродова) са RD-HR мапе помоћу новоразвијеног алгоритма за *Image Processing*. Модел би требало да буде прилагођен специфичностима овог типа RD мапа (карактеристикама пикова у њиховим критеријумским функцијама).
- Нумеричка оптимизација и практична реализација алгоритама биће предмет посебне анализе, која ће се решавати на 2 начина, а то су коришћењем неуниформне верзије алгоритама, као и *multithreading* током извршавања алгоритама. Циљ је извршавање новоразвијених алгоритама у реалном времену, што је веома комплексан задатак. Алгоритми су рачунарски врло захтевни и да би били практично применљиви потребно је формулисати нумерички оптимизоване верзије алгоритама у циљу смањења времена њиховог извршавања.
- Потребно је такође развити и стратегију за поређење перформанси постојећих и новоразвијених алгоритама, симулационом анализом. Та стратегија ће се заснивати на упоређењу *Radar Operating* карактеристика новоразвијених високорезолуционих алгоритама и постојећих алгоритама који се заснивају на добијању RD мапе применом 2D Фуријеове трансформације, а који су публиковани у литератури и примењени у већини постојећих изахоризонтних радара у оперативној употреби. Под *Radar Operating* карактеристикама подразумевају се кривуље које повезују вероватноће детекције и вероватноће лажних аларма у функцији системских параметара, попут односа сигнал/шум, период интеграције итд.
- Експериментална анализа, коришћењем предложених алгоритама у пракси, као и њихова упоредна анализа и поређење са резултатима постојећих алгоритама биће предмет посебног разматрања, као и поређење са резултатима симулационог модела.

7. Закључак и предлог

Комисија оцењује да кандидат Драган Голубовић, мастер инж. електротехнике и рачунарства, располаже потребним знањем и аналитичким вештинама неопходним за адекватно разумевање и истраживање дефинисане теме. На основу објављених научних радова, константног рада у вези са темом у лабораторијским и теренским условима, одличног образложења теме докторске дисертације и успешне јавне одбране, закључујемо да је кандидат способан за самосталан научни рад, да може да изврши планирана истраживања у целости, као и да испуњава све услове за пријаву теме докторске дисертације.

Предложена тема припада студијском програму Електротехника и рачунарство, односно научној области Телекомуникације. Она 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. Очекивани резултати теоријске и емпиријске анализе у оквиру дисертације ће на иновативан и савремен начин допринети бољим резултатима примарне обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу, у односу на постојеће радаре. Предмет и циљ дисертације су јасно и коректно формулисани, а хипотезе и структура рада постављени у складу са њима. Такође, предложене методе истраживања су довољно поуздане да обезбеде доношење исправних закључака.

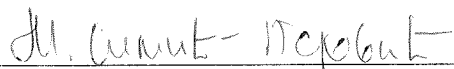
На основу наведеног, сматрамо да је тема по радном наслову, по предложеном садржају, као и по задатом циљу, довољно широка да се може сматрати подобном за самостално научно истраживање. Тема је значајна и актуелна, те се са високом поузданошћу може очекивати да ће одређени резултати, који ће бити део 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.

Имајући у виду све наведено, Комисија сматра да су кандидат и предложена тема подобни, те стога предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације под насловом „Високорезолуциона примарна обрада сигнала код изахоризонтних радара у високофреквентном опсегу”.

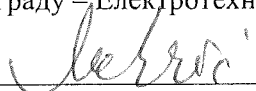
Такође, Комисија подржава предлог кандидата и предлаже да се за ментора, који ће водити кандидата током истраживања и израде докторске дисертације, одреди др Мирјана Симић-Пејовић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

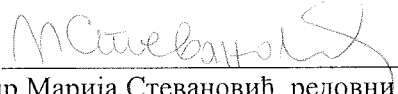
Београд, 08.12.2022.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


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


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