

Електротехнички факултет  
Универзитет у Београду  
Булевар краља Александра 73, Београд

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену испуњености услова за стицање научног звања **научни сарадник** кандидата **Ненада Вукмировића, др. наука - електротехника и рачунарство**

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 851/2 од 24.05.2018. године, која је донета на 827. редовној седници одржаној 15.05.2018. године, образована је Комисија за утврђивање испуњености услова за избор Ненада Вукмировића, др. наука - електротехника и рачунарство, у научно звање научни сарадник у саставу:

1. др Миљко Ерић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет – Председник комисије
2. др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
3. др Петар Ђурић, distinguished professor, Stony Brook University, NY, USA, Department of Electrical and Computer Engineering

По пријему релевантне документације Комисија је обавила анализу научне и стручне активности кандидата, на основу чега подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

#### 1.1. образовање

Ненад Вукмировић рођен је 04.10.1988. године у Београду. Основну школу и Математичку гимназију завршио је у Београду, обе са одличним успехом. Електротехнички факултет у Београду уписао је школске 2007/2008. 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 2011/2012 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 у Београду, на модулу Телекомуникације, где је положио све испите са највишом оценом и урадио све обавезе предвиђене планом и програмом докторских студија. Докторски рад под називом “Кохерентна директна локализација у дистрибуираним масивним вишеантенским системима” одбранио је 26.12.2019. године. Ментор докторског рада био је др Миљко Ерић.

Кандидат је био стипендиста Фонда за младе таленте Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Кандидат је завршио курсеве енглеског језика на Институту за стране језике у Београду, закључно са конверзацијским.

## 1.2. Стручно искуство, научна активност, учешће на пројектима и сарадње

Од јула 2018. године, запослен је у Иновационом центру Електротехничког факултета у Београду. Пројекти на којима је кандидат до сада био ангажован:

- “Напредне технике ефикасног коришћења спектра у бежичним системима”, ТР32028; руководилац пројекта др Предраг Иваниш, Електротехнички факултет у Београду

У оквиру пројекта министарства ТР32028 кандидат је дао значајан допринос теоријским и практичним концептима локализације, синхронизације и калибрације применом дистрибуираних антенских низова. Његово истраживање било је везано за теоријску анализу и развој алгоритама за директну широкопојасну кохерентну локализацију радио предајника антенским низом и практичну имплементацију користећи USRP уређаје. Широко практично и теоријско знање стечено на овом пројекту, као и писање и ревизија докторске тезе и радова за часописе и конференције, имало је позитиван утицај на усавршавање кандидата.

## 1.4. Примарни истраживачки интерес

Фокус истраживачког рада кандидата је развој нових алгоритама за директну широкопојасну кохерентну локализацију у дистрибуираним сензорским и *massive* MIMO системима и теоријска анализа њихових перформанси. У оквиру истраживања извео је теоријску *Cramer-Rao*-ву границу за варијансу грешке процене локације у просторно кохерентном сценарију.

У оквиру развоја сензорске мреже за просторно-временски *spectrum sensing*, која је реализована у оквиру пројекта ТР32028, учествовао је у развоју, имплементацији и испитивању алгоритама за директну локализацију радио предајника. Кандидат је, у сарадњи са колегама, реализовао софтвер за симулациону анализу алгоритама и софтвер за управљање USRP уређајима. Досадашњи истраживачки рад кандидат је публикувао у научним радовима објављеним у међународним часописима, на конференцијама и у верификованим техничким решењима.

## 1.5. Публикације

Кандидат Ненад Вукмировић до сада је објавио:

- један рад у врхунском међународном часопису (категорија M21),
- један рад у истакнутом међународном часопису (категорија M22),
- један рад у међународном часопису (категорија M23),
- четири рада у зборницима међународних скупова (категорија M33),
- једна одбрањена докторска дисертација (категорија M71),

- једно техничко решење (категирија M83),
- четири техничка решења (категирија M85).

## 2. РЕЛЕВАНТНЕ РЕФЕРЕНЦЕ КАНДИДАТА

У поглављу 2.1 наведене су све научно-стручне референце кандидата.

У поглављу 2.2 дат је збирни приказ квантитативних резултата кандидата, разврстаних према категоријама.

Поглавље 2.3 даје кратку анализу радова кандидата, док се поглавље 2.4 односи на цитираност радова кандидата.

### 2.1. Научно-стручне референце

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

- [1] N. Vukmirović, M. Erić, M. Janjić, P. M. Djurić, "Direct wideband coherent localization by distributed antenna arrays", *Sensors*, vol. 19, no. 20, pp. 1-28, October 2019. (DOI: 10.3390/s19204582, ISSN: 1424-8220, IF=3.031)

#### 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, M. Erić, "TDOA, Frequency and Phase Offsets Estimation Taking Into Account Carrier Phase of Arrival", *Radioengineering*, vol. 26, no. 4, pp. 1143-1150, December 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, P. Ivaniš, "An error correcting technique for performance improvement of OFDM based secondary link," *International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, Niš, Serbia, 14-17 October, 2015.
- [2] M. Erić, N. Vukmirović, M. Janjić, "Calibration of Local Oscillators Mismatch in a Multi-channel Receiving System," in *Proc. IcETRAN 2017*, Kladovo, Serbia, 5-8 June, 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.

### Одбрањена докторска дисертација (M71):

- [1] Н. Вукмировић, *Кохерентна директна локализација у дистрибуираним масивним вишеантенским системима*. Електротехнички факултет - Универзитет у Београду, 2019.

### Техничко решење категорије M83:

- [1] М. Ерић, **Н. Вукмировић**, L. Saranovac, М. Јанјић, 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] **Н. Вукмировић**, М. Manojlović, М. Ерић, М. Јанјић, "Softver za upravljanje senzorskom mrežom za združeno prostorno-vremenski spectrum sensing realizovane na bazi USRP platformi i obradu dobijenih rezultata," ETF, 2015.
- [2] М. Јанјић, М. Ерић, **Н. Вукмировић**, "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] М. Ерић, **Н. Вукмировић**, М. Јанјић, D. Vučić, "New algorithm for calibration of local oscillators mismatch in a multi-channel receiving system," ETF, 2015.
- [4] М. Ерић, **Н. Вукмировић**, М. Јанјић, D. Vučić, "Novi postupak za merenje zauzetosti radio-frekvencijskog spektra u kontekstu kognitivnog radija," ETF, 2015.

## 2.2. Збирни преглед резултата по категоријама

Назив групе	Ознака групе	Вредност резултата	Број радова	Број поена
Радови у врхунским међународним часописима	M21	8	1	8
Радови у истакнутим међународним часописима	M22	5	1	5
Радови у међународним часописима	M23	3	1	3
Зборници међународних научних скупова	M33	1	4	4
Одбрањене докторске дисертације	M71	6	1	6
Техничка решења M83	M83	4	1	4
Техничка решења M85	M85	2	4	8
<b>Укупно</b>				<b>38</b>

## 2.3. Кратка анализа радова

Кандидат Ненад Вукмировић се у свом научно-истраживачком раду бави различитим аспектима локализације извора радио сигнала који укључују хардверску имплементацију користећи софтверски дефинисане радио платформе. Радови из ове области публиковани су у часописима и симпозијумима међународног значаја.

У оквиру докторске тезе је формулисао модел широкопојасних сигнала у просторно кохерентном сценарију LoS компоненти на дистрибуираном антенском систему, како у континуалном тако и у дискретном облику. У оквиру тога је показао како који параметар утиче на примљене сигнале, како се могу представити нецелобројни временски помаци у дискретном домену и дао дефиницију просторне кохеренције пропагационог медијума за дате позиције предајника и пријемника. Извео је теоријске границе прецизности кохерентне локализације за поменути модел, за случај познате секвенце и случајног Гаусовог сигнала, како за локализацију у равни тако и у простору. Формулисао је методе различитих типова за директну локализацију за дати модел, са познатом и непознатом секвенцом и са различитим нивоима кохеренције, изложио резултате симулационе анализе, као и резултате експеримената извршених помоћу софтверско-хардверске платформе, која је реализована у оквиру пројекта TP32028.

У раду публикованом у часопису *Sensors*, 2019, учествовао је у извођењу алгоритама ML типа за познату и непознату секвенцу и формулисању широкопојасне варијанте MUSIC алгорита за дистрибуирани низ, све за директну локализацију, и вршио упоредну анализу нумеричке комплексности тих алгоритама. Такође је учествовао у симулационој анализи њихових перформанси, као и анализи утицаја вишеструког простирања и интерференције. Тиме је показана способност MUSIC алгорита да функционише и у случају јаке интерференције, тј. проблема близу-далеко. Показано је и како се оптимизацијом геометрије антенског низа може утицати на ублажавање проблема вишезначности. Поред тога, кандидат је вршио и симулације са класичним (колоцираним) низом и показао да су алгоритми, захваљујући томе што узимају у обзир закривљеност таласног фронта, способни да процене не само смер доласка сигнала, него и раздаљину до предајника, иако он није синхронизован са пријемним системом.

У раду публикованом у часопису *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2018, учествовао је у дефинисању архитектуре дистрибуираног масивног MIMO система за локализацију, која има способност усмеравања снопа на сваком од својих поднизова, а да се при том уштеди на броју дигиталних канала, као и да се, посредством посебне референтне антене, омогући ефикасна процена временског помака која је потребна у случају познате секвенце. Учествовао је у формулисању вишестепене стратегије претраге прилагођене датој архитектури, која решава проблем вишезначности процене, комбинујући добре особине алгоритама различитог нивоа кохеренције. Стратегија је робусна (функционише и у случају погоршања услова простирања) и модуларна (појединачни алгоритми у њеним етапама се могу заменити другим алгоритмима истог типа). Кандидат је такође учествовао у извођењу алгоритама за директну локализацију са познатом секвенцом за етапе те стратегије и симулационој анализи њихових перформанси.

У раду публикованом у часопису *Radioengineering*, 2017, извео је границе за варијансу грешке при процени калибрационих и синхронизационих параметара (временски, фазни и фреквенцијски помак између сигнала у 2 канала) система за локализацију, и учествовао у извођењу алгоритама за њихову процену. Извршио је делимичну нумеричку оптимизацију аналитичким упрошћавањем алгоритама и учествовао у симулационој анализи њихових перформанси. Теоријске границе су изведене и симулације извршене за случајеве са различитим скуповима непознатих параметара и идентификован је случај у коме се

коришћењем информација садржаних у фази носиоца омогућава смањење грешке процене временског помака за неколико редова величине.

У раду за TELSIXS 2015, кандидат је генерисао LDPC кодове и вршио симулације за процену њихових перформанси. У раду за IcETRAN 2017, извео је границе за варијансу грешке при процени фазног и фреквенцијског помака између сигнала у 2 канала система за локализацију, и учествовао у извођењу алгоритма за њихову процену, као и у анализи његових перформанси. У раду за IcETRAN 2018 учествовао је у анализи расподеле грешака алгоритма за процену TOA/TDOA и проблема вишезначности у двоканалном систему. У раду за IcETRAN 2019 учествовао је у анализи перформанси директне локализације дистрибуираним кружним низом унутар и ван отвора тог низа.

## **2.4. Цитираност радова**

Према Google Scholar извору:

- рад [1] из категорије M22 (EURASIP) цитиран је 3 пута , (2 аутоцитата).
- рад [1] из категорије M23 (Radioengineering) цитиран је 2 пута, (2 аутоцитата).
- рад [3] из категорије M33 (IcETRAN 2018) цитиран је 2 пута., (2 аутоцитата).

## **3. ИСПУЊЕНОСТ КВАЛИТАТИВНИХ КРИТЕРИЈУМА**

Квалитативни допринос кандидата Ненада Вукмировића огледа се пре свега у научним радовима публикованим у часописима међународног значаја, у зборницима међународних научних скупова и у одбрањеној докторској тези, као и у резултатима проистеклих из истраживања у оквиру пројекта TP32028.

### **3.1. Показатељи успеха у научном раду**

Кандидат Ненад Вукмировић је до сада објавио осам научних радова, од тога три рада штампана у међународним часописима (M21, M22 и M23), четири рада штампана у зборницима међународних скупова (M33) и одбранио докторску тезу (M71). Поред склоности ка теоријској анализи, кандидат је показао афинитет за решавање практичних проблема, тако да је и аутор или коаутор пет запажених усвојених техничких решења (једно M83 и четири M85).

### **3.2. Развој услова за научни рад, образовање и формирање научних кадрова**

Кандидат Ненад Вукмировић се у свом научном раду примарно бави локализацијом у радио системима. Највећи део објављених резултата укључен је у резултате пројекта TP32028 Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

Тренутно је ангажован у Иновационом центру Електротехничког факултета Универзитета у Београду где сарађује са професорима Предрагом Иванишем и Миљком Ерићем, као и докторантима који су били укључени у пројекат Министарства TP32028, са којима је публиковао већину приказаних радова. Такође наставио је успешно започету сарадњу на истраживању и публиковању радова са проф. Петром Ђурићем са Stony Brook универзитета, USA.

### **3.3. Квалитет научних резултата**

Истраживачки интерес кандидата Ненада Вукмировића укључује анализу и практичну реализацију (пре свега радио, али и акустичких) система, за лоцирање извора сигнала, као и развој нових алгоритама за обраду сигнала за примену у локализацији. Основни доприноси кандидата проистекли из истраживања у овим областима су:

- извођење теоријских граница за прецизност при локализацији
- формулисање нових алгоритама за директну локализацију у дистрибуираним сензорским и масивним МИМО системима
- развој софтвера за управљање USRP уређајима за потребе пријема сигнала и локализације

До сада је објавио 8 научно-стручних радова, од тога 5 радова као први аутор. Активно је учествовао у истраживању и на изради радова на којима је коаутор. Према Google Scholar извору, радови кандидата цитирани су седам пута.

### **4. ОЦЕНА ИСПУЊЕНОСТИ УСЛОВА ЗА СТИЦАЊЕ НАУЧНОГ ЗВАЊА**

Према Правилнику о вредновању научно-истраживачких резултата, кандидат Ненад Вукмировић је у досадашњем раду остварио укупно 38 поена. Потребан услов за избор у звање научни сарадник је тиме испуњен. Што се тиче квалитативних показатеља успешности, Комисија сматра да је кандидат испунио све неопходне услове по тачкама Правилника о избору у научна звања.

Кандидат Ненад Вукмировић је током свог досадашњег научно-истраживачког рада остварио значајне резултате пре свега у области директне широкопојасне кохерентне локализације у дистрибуираним вишеантенским системима. Основни допринос представљају развој нових алгоритама за директну кохерентну локализацију и теоријска/симулациона анализа перформанси развијених алгоритама.

Као резултат истраживачког рада, до сада је објавио 3 рада у међународним часописима, 4 рада у зборницима међународних научних скупова, као и 5 техничких решења и одбранио докторску тезу.

На основу остварених резултата у научно-истраживачком раду, као и на основу увида у приложену документацију, Комисија сматра да кандидат Ненад Вукмировић испуњава све потребне услове за избор у звање научни сарадник.

### **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ**

На основу документације коју је Ненад Вукмировић приложио, Комисија констатује да кандидат испуњава све законске, формалне и суштинске услове за избор у звање научни сарадник. Потписници овог реферата познају Ненада Вукмировића као вредног и педантног колегу који је увек спреман за сарадњу и способан за тимски рад. Ненад Вукмировић је кроз рад показао научничку зрелост, самосталност, критичност и оригиналност.

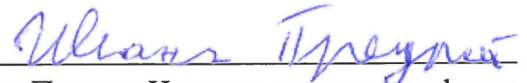
Имајући у виду наведено, као и целокупну научно-стручну делатност кандидата, Комисија сматра да су задовољени сви постављени квантитативни и квалитативни критеријуми за избор и предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да Ненада Вукмировића изабере у звање НАУЧНИ САРАДНИК.

У Београду, 06.05.2020. године


**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**



др Миљко Ерић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Петар Турић, distinguished professor  
Stony Brook University, NY, USA, Department of Electrical and Computer Engineering