

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидаткиње Надице Козић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа бр. 997/22 од 4.7.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Надице Козић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“** (енгл. *„Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge“*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Надица Козић је рођена 24. новембра 1987. године у Крушевцу. Основну школу је завршила у Почевини са одличним успехом, као носилац Вукове дипломе и ђак генерације. Завршила је Математичку гимназију у Крушевцу са одличним успехом, као носилац Вукове дипломе. Основне академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписала је 2006. године. Дипломирала је на смеру Телекомуникације и информационе технологије 2010. године, са просечном оценом 9.09. Урадила је дипломски рад на тему „Преглед процедура за аутоматску ретрансмисију пакета (ARQ, HARQ) и примена“ и одбранила га са оценом 10. Мастер академске дипломске студије уписала је на Електротехничком факултету у Београду 2010. године, на смеру Телекомуникације и информационе технологије, где је положила све испите са просечном оценом 9.67. Мастер рад на тему „Анализа перформанси заштитних кодова примењених у кооперативним релејним системима“ одбранила је 2012. године, са оценом 10, чиме је стекла звање дипломирани инжењер - мастер електротехнике и рачунарства. Докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписала је 2015. године, на смеру Телекомуникације.

Надица Козић се, одмах по дипломирању, 2010. године запослила на Војнотехничком институту као истраживач у Сектору за електронске системе. Унапређена је у звање начелника одсека система за електронско ратовање у Сектору за електронске системе 2017. године.

За постигнуте резултате у области науке и развоја наоружања и војне опреме Министарство одбране Републике Србије је 2019. године Надици Козић доделило награду за учињено дело и постигнуте резултате од посебног значаја, као најбољем истраживачу.

Од јануара 2020. године до маја 2021. године Надица Козић је радила у компанији *Ibis Instruments* на позицији руководиоца одељења за развој софтвера. Надица Козић је од маја 2021. године запослена у Банци Поштанска штедионица на позицији водећег инжењера информационо-телекомуникационе инфраструктуре у сектору за информационе технологије.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Надица Козић је 2015. године уписала докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Телекомуникације. Положила је све предмете предвиђене наставним планом са просечном оценом 10. У наредној табели дат је списак свих положених испита.

Ред. бр.	Шифра предмета	Предмет	Оцена	ЕСПБ
1	13Д031СМР	Системи мобилних радио-веза	10 (десет)	9
2	13Д031СТК	Савремене технике контроле грешака у телекомуникацијама	10 (десет)	9
3	13Д031СРТ	Савремене радио-технологије	10 (десет)	9
4	13Д081СФ	Специјалне функције	10 (десет)	9
5	13Д091УНР	Увод у научни рад	10 (десет)	6
6	13Д031ДОС	Дигитална обрада сигнала	10 (десет)	9
7	13Д051КЕС	Класификација и естимација сигнала	10 (десет)	9
8	13Д081АР	Аутоматско резоновање	10 (десет)	9
9	13Д031КОГР	Когнитивне радио мреже	10 (десет)	9
10	13Д031СПТ	Случајни процеси у телекомуникацијама	10 (десет)	9

Надица Козић је у току докторских студија урадила и остале обавезе:

1. Студијски истраживачки рад I (15 ЕСПБ),
2. Студијски истраживачки рад II (15 ЕСПБ),
3. Научно стручни рад (3 ЕСПБ),

чиме је остварила укупан број од 120 ЕСПБ бодова у току докторских студија.

Научно-истраживачко искуство у области предложене теме Надица Козић је потврдила објављивањем два рада у међународним часописима са SCI листе (категорије M21) и једног рада на конференцији међународног значаја.

У току своје досадашње каријере кандидаткиња се бавила научно-истраживачким и инжењерским радом и у другим областима везаним за бежичне телекомуникације и електронски рат, где је као резултат објавила 4 рада у часописима националног значаја (категорија M52), 10 радова на конференцијама међународног значаја (категорија M33), 4 рада на конференцијама националног значаја (категорија M63), као и развој два индустријска прототипа (категорија M82 и M85).

У наредном делу наведене су научне и стручне референце кандидаткиње Надице Козић груписане у складу са спецификацијом Министарства просвете и науке Србије.

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20):

- [1] N. Kozić, V. Blagojević, A. Cvetković, and P. Ivaniš, "Performance Analysis of Wirelessly Powered Cognitive Radio Network with Statistical CSI and Random Mobility," *Sensors*, vol. 23, no. 9, p. 4518, May 2023, doi: 10.3390/s23094518, ISSN: 1424-8220, Impact Factor: 3.847 (M21)
- [2] N. Kozić, V. Blagojević, and P. Ivaniš, "Performance Analysis of Underlay Cognitive Radio System with Self-Sustainable Relay and Statistical CSI," *Sensors*, vol. 21, no. 11, p. 3727, May 2021, doi: 10.3390/s21113727. ISSN: 1424-8220, Impact Factor: 3.847 (M21)

Радови објављени у зборницима међународних научних скупова (M30):

- [1] N. Kozić, V. Blagojević, and P. Ivaniš, "Ergodic Capacity Analysis of Cognitive System with Self-Sustainable Relay and Statistical CSI," *2021 29th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 1-4, Belgrade, Serbia, 2021, doi: 10.1109/TELFOR52709.2021.9653387. (M33)
- [2] I. Pokrajac, N. Kozić, A. Čančarević, and R. Brusin, "Jamming of GNSS signals," *Proceedings of 8th International Scientific Conference on defensive technologies OTEH 2018*, pp.264-269, Belgrade 11-12 October 2018, ISBN 978-86-81123-71-3. (M33)
- [3] M. Mišić, A. Cajković, N. Kozić and I. Pokrajac, "Porting library for wideband direction finding: lessons learned," *Proceedings of 8th International Scientific Conference on defensive technologies OTEH 2018*, pp. 302-306, Belgrade 11-12 October 2018, ISBN 978-86-81123-71-3. (M33)
- [4] N. Kozić, I. Pokrajac and P. Okiljević, "An Approach Of Using General Purpose Graphics Processing Units In Modern Systems For Electronic Warfare," *Proceedings of 17th International Conference on Aerospace sciences & Aviation technology ASAT - 17 Cairo*, pp. 11-13, Egypt, 6-7 April 2017. (M33)
- [5] V. Obradović, P. Okiljević, N. Kozić, and D. Ivković, "Practical implementation of digital down conversion for wideband direction finder on FPGA," *Proceedings of 7th International Scientific Conference on defensive technologies OTEH 2016*, pp. 486-493, Belgrade 6-7 October 2016, ISBN 978-86-81123-82-9. (M33)
- [6] M. Mišić, I. Pokrajac, N. Kozić, and P. Okiljević, "GPU-based preprocessing for spectrum segmentation in direction finding," *Proceedings of 7th International Scientific Conference on defensive technologies OTEH 2016*, pp. 472-477, Belgrade 6-7 October 2016, ISBN 978-86-81123-82-9. (M33)
- [7] I. Pokrajac, N. Kozić, P. Okiljević, M. Vračar, and R. Brusin, "Acoustic source localization using a discrete probability density method for position determination," *Proceedings of 7th International Scientific Conference on defensive technologies OTEH 2016*, pp. 327-331, Belgrade 6-7 October 2016, ISBN 978-86-81123-82-9. (M33)

[8] N. **Kozić**, M. Simić, I. Pokrajac and P. Okiljević, "Accelerating cyclostationary analysis by DFSM algorithm on a GPU," *Proceedings of 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2016*, EK13.4.1-5, Zlatibor, Serbia, June 13-16, 2016, ISBN 978-86-7466-618-0. (M33)

[9] N. Stefanović, I. Pokrajac, P. Okiljević, and N. **Kozić**, "An approach for Optimum Transmitter Selection for Passive Radar," *Proceedings of 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2015*, MT12.2.1-6, Silver Lake, Serbia, June 8-11, 2015, ISBN 978-86-80509-71-6. (M33)

[10] N. **Kozić**, P. Okiljević, I. Pokrajac, and D. Obradović, "An approach to design of battlefield simulator for decentralized data fusion simulator," *Proceedings of 6th International Scientific Conference on defensive technologies OTEH 2014*, MT12.2.1-6, Belgrade 9-10 October 2014, ISBN 978-86-81123-71-3. (M33)

[11] I. Pokrajac, N. **Kozić**, P. Okiljević, and D. Obradović, "An approach to design and development simulator for comint system for decentralized data fusion simulator," *Proceedings of 6th International Scientific Conference on defensive technologies OTEH 2014*, pp. 471-476, Belgrade 9-10 October 2014, ISBN 978-86-81123-71-3. (M33)

Радови објављени у научним часописима националног значаја (M50):

[1] I. Pokrajac, M. Vračar, N. **Kozić**, R. Brusin, and M. Stanojević, "Position Determination of Acoustic Source Using a Discrete Probability Density Method Supported by Joint Detection and Time of Arrival Estimation," *Scientific Technical Review*, vol.67, no.1, pp. 29-37, 2017, ISSN 1820-0206 (M52)

[2] I. Pokrajac, P. Okiljević, and N. **Kozić**, "An Approach to Design and Development of a Wideband Direction Finder Simulator," *Scientific Technical Review*, vol.66, no.3, pp. 12-20, 2016, ISSN 1820-0206 (M52)

[3] D. Ivković, M. Andrić, B. Zrnić, P. Okiljević, and N. **Kozić**, "CATM-CFAR Detector in the Receiver of the Software Defined Radar," *Scientific Technical Review*, vol. 64, no.4, pp. 27-38, 2014, ISSN 1820-0206 (M52)

[4] N. **Kozić**, P. Okiljević, I. Pokrajac, D. Obradović, and D. Ivković, "An Approach to the Design and Development of a Decentralized Data Fusion Simulator – Battlefield and COMINT System Simulator," *Scientific Technical Review*, vol.64, no.3, pp. 31-39, 2014, ISSN 1820-0206 (M52)

Радови објављени у зборницима научних скупова националног значаја (M60):

[1] N. **Kozić**, I. Pokrajac and P. Okiljević, "Direktna procena lokacije korisnika u tetra mobilnom radio sistemu," *Proceedings of 57th ETRAN Conference*, Zlatibor, Serbia, 3-6 June 2013, ISBN 978-96-80509-68-6 (M63)

[2] V. Spajić, P. Okiljević and N. **Kozić**, "Mogućnost primene detektora energije sa periodogramom u kognitivnom radiju," *Proceedings of 57th ETRAN Conference*, Zlatibor, Serbia, 3-6 June 2013, ISBN 978-96-80509-68-6 (M63)

[3] P. Okiljević, I. Pokrajac, N. **Kozić** and V. Spajić, "Kontrola pristupa korišćenjem_Android aplikacije," *Proceedings of 57th ETRAN Conference*, Zlatibor, Serbia, 3-6 June 2013, ISBN 978-96-80509-68-6 (M63)

[4] V. Spajić, N. **Kozić**, I. Pokrajac and P. Okiljević, "Radio-monitoring telekomunikacionih sistema sa TDMA tehnikom višestrukog pristupa," *20th Telecommunications forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, 20-22 November 2012, ISBN 978-1-4673-2984-2 (M63)

Нова производна линија, нови материјал, индустријски прототип (M82):

[1] I. Pokrajac, P. Okiljević, D. Ivković, N. **Kozić**, V. Vujanović, A. Davidović and A. Tucakov, "Radio-goniometarski procesor za primenu u širokopojasnom radio-goniometru," Tehničko rešenje (klasifikovano kao industrijski prototip u grupi tehnička i razvojna rešenja), broj odluke: VTI int. 01/156-45 od 15.03.2016. (M82)

Нова производна линија, нови материјал, индустријски прототип (M85):

[1] I. Pokrajac, P. Okiljević, N. **Kozić**, G. Krnić, and U. Dragišić, "Softver za identifikaciju informacionih kanala," Tehničko Rešenje (klasifikovano kao softver u grupi tehnička i razvojna rešenja), broj odluke: VTI int. 01/94-240 od 28.09.2015. (M85)

[2] I. Pokrajac, P. Okiljević, D. Ivković, N. **Kozić**, G. Krnić, and U. Dragišić, "Softver za formiranje elektronske slike bojišta," Tehničko Rešenje (klasifikovano kao softver u grupi tehnička i razvojna rešenja), broj odluke: VTI int. 01/94-167 od 17.06.2015. (M85)

Дана 10.7.2023. године, на Електротехничком факултету у Београду, одржана је јавна усмена одбрана предложене теме, пред Комисијом у саставу:

1. др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
2. др Горан Т. Ђорђевић, редовни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет,
3. др Драган Олћан, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидаткиња Надица Козић је успешно одбранила тему докторске дисертације и Комисија је закључила да кандидаткиња испуњава услове за рад на предложеној теми и оценила испит оценом „задовољила“.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу усмене одбране теме докторске дисертације, претходно изложеног приказа резултата досадашњег научно-истраживачког рада кандидаткиње, публикованих резултата истраживања, као и оствареног радног искуства, Комисија закључује да је кандидаткиња Надица Козић показала способност за самосталан и успешан научно-истраживачки рад. Како је кандидаткиња показала широко знање у области теме, изложила циљеве и очекиване резултате истраживања, Комисија сматра да је кандидаткиња испунила услове за израду докторске дисертације из области предложене теме.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације представљају кооперативни когнитивни системи са бежичним преносом енергије, код којих се повећање спектралне ефикасности остварује на основу познавања статистичке информације о стању у каналу. Наиме, у новим генерацијама телекомуникационих система повећање броја бежичних корисника и понуђених сервиса, ствара потребу за увођењем нових концепата при коришћењу расположивих телекомуникационих ресурса. Нове генерације система имају циљ да обезбеде низ унапређења у брзинама преноса, покривености, поузданости и смањењу кашњења. Улога 5G и наредних генерација мрежа је да омогуће телекомуникационе везе великих брзина

преноса које ће омогућити сакупљање, пренос, контролу и процесирање података, чиме се ствара адекватно окружење за даљи развој IoT (енгл. *Internet of Things*) система. Ови системи подразумевају веома велики број просторно распоређених повезаних уређаја и сензора малих димензија и мале снаге са скромним рачунским капацитетима. Иако су захтеви индивидуалних уређаја релативно мали, услед њиховог великог броја јавља се потреба за повећањем брзина преноса. Како традиционална статичка расподела спектра не омогућава ефикасно коришћење ресурса, концепт когнитивног радија уведен је са идејом повећања спектралне ефикасности [1], а његов значај је препознат и за примене у 5G и IoT системима [2-4]. Један од најважнијих концепата когнитивног приступа спектру заснива се на контролисању генерисане интерференције на месту лиценцираног корисника спектра. Познато је да је за реализацију таквог система неопходно вршити адаптацију предајне снаге у реалном времену, у складу са доступном информацијом о стању у каналу (*CSI, Channel State Information*) ка примарном пријемнику [2-4]. Међутим, у реалном динамичном окружењу ова информација је најчешће несавршена или застарела, чак и у случајевима када постоји висок ниво кооперативности примарних и секундарних корисника система [5-6]. Стога су посебну пажњу у истраживањима привукли системи који се заснивају на статистичкој информацији о стању у каналу, јер се на тај начин поједностављују комплексна израчунавања потребна за адаптацију снаге секундарних предајника, и олакшава примена система код уређаја мале снаге и скромних могућности процесирања [7-8].

Осим очекиваног повећања укупног саобраћаја, повећање броја корисника у новим генерацијама телекомуникационих система доводи и до повећане потрошње енергије, па су веома актуелна истраживања која се односе на повећање енергетске ефикасности. Поред тога, постоји и потреба за ефикасним приступом у напајању уређаја, јер чак и у случајевима где је могуће применити батеријско напајање, њихова периодична замена може представљати практичан проблем услед великог броја уређаја или неприступачне локације. Стога је у досадашњим истраживањима велику пажњу привукла примена концепта ефикасног прикупљања и коришћења енергије из окружења (енгл. *energy harvesting*), као и бежичног преноса енергије (енгл. *wireless power transfer*) [9-11]. Иако су познати разни типови природних извора енергије који се могу користити (соларни, топлотни, вибрациони, итд.), прикупљање енергије из постојећих радио-фреквенцијских (RF) сигнала омогућује неопходну поузданост у снабдевању енергијом, као и истовремени пренос информација и енергије (*SWIPT, simultaneous wireless information and power transfer*). RF енергија се може прикупљати из амбијенталних извора или постојећих сигнала интерференције [12-13], као и од извора који су посебно намењени за напајање (*PB, power beacon*) [14]. При томе, могу се разликовати основни протоколи за прикупљање енергије базирани на преносу са расподелом интервала за пренос енергије и информација у времену (*TS, Time Switching*) или са поделом снаге (*PS, Power Splitting*) [15].

Предмет истраживања у овој дисертацији је анализа могућности система који користе когнитивне принципе приступа спектру базирани на статистичкој информацији о стању у каналу, при чему се напајање система врши применом бежичног преноса енергије. У тези ће бити разматрана зависност сакупљене енергије од услова пропагације и примењеног протокола за истовремени пренос информација и енергије. Осим тога, у системима са великим бројем уређаја који емитују малом снагом често не постоји директна оптичка видљивост у свим случајевима, па ће бити разматрани и сценарији када се пренос информација одвија посредством релејног чвора у мрежи [16-18].

У до сада доступној литератури најчешће су се разматрали случајеви када су сви корисници фиксно позиционирани, услед чега су растојања корисника у мрежи константна. Међутим, ова претпоставка не одговара реалним сценаријима у новим генерацијама система које карактерише висок ниво мобилности. Како кретање корисника директно утиче на промену средње снаге сигнала на пријему, у тези ће бити извршена анализа утицаја кретања корисника на перформансе бежичног телекомуникационог система [19-21].

Даље, у савременим бежичним комуникационим системима велики изазов представља и заштита информација које се преносе. За заштиту информација типично се користе криптографске методе релативно високог нивоа сложености које нису прилагођене примени за уређаје мале снаге, па су новија истраживања усмерена на услове безбедности преноса на физичком слоју [22-23]. Стога је анализа посматраног когнитивног система додатно проширена и на услове безбедности преноса информација.

Циљ истраживања у овој докторској дисертацији је одређивање перформанси предложених бежичних телекомуникационих когнитивних система мале снаге са бежичним преносом енергије за случајеве када се пренос информација у когнитивној мрежи врши уз помоћ релеја, као и система у којем се секундарни предајник напаја бежичним путем из наменског извора енергије.

Основни допринос истраживања у овој докторској дисертацији је анализа когнитивних система смањене потребне рачунске сложености којима се унапређује спектрална ефикасност, уз примену енергетски ефикасних решења за бежично напајање система. Посебна пажња је посвећена утицају мобилности пријемника на перформансе система. Како су могућности примене конвенционалних техника заштите информација ограничене због високог нивоа рачунске сложености, у раду ће бити анализирани и могућности заштите преноса података на физичком слоју.

Релевантни библиографски извори за предложено истраживање:

1. A. Goldsmith, S. A. Jafar, I. Maric and S. Srinivasa, "Breaking Spectrum Gridlock With Cognitive Radios: An Information Theoretic Perspective," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 5, pp. 894-914, May 2009.
2. F. Hu, B. Chen and K. Zhu, "Full Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks Toward 5G: A Survey," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 15754-15776, February 2018.
3. A. A. Khan, M. H. Rehmani and A. Rachedi, "Cognitive-Radio-Based Internet of Things: Applications, Architectures, Spectrum Related Functionalities, and Future Research Directions," *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 3, pp. 17-25, June 2017.
4. F. A. Awin, Y. M. Alginahi, E. Abdel-Raheem and K. Tepe, "Technical Issues on Cognitive Radio-Based Internet of Things Systems: A Survey," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 97887-97908, July 2019.
5. A. Ghasemi and E. S. Sousa, "Fundamental limits of spectrum-sharing in fading environments," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 6, no. 2, pp. 649-658, February 2007.
6. H. Kim, H. Wang, S. Lim and D. Hong, "On the Impact of Outdated Channel Information on the Capacity of Secondary User in Spectrum Sharing Environments," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 11, no. 1, pp. 284-295, January 2012.
7. S. Lim, H. Wang, H. Kim and D. Hong, "Mean Value-Based Power Allocation without Instantaneous CSI Feedback in Spectrum Sharing Systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 11, no. 3, pp. 874-879, March 2012.
8. D. Lee, "Performance analysis of scheduled STBC using statistical CSI under multiple interferers with different power in CR-MIMO systems," *Physical Communications*, vol. 27, pp. 125-132, April 2018.
9. S. Ulukus, A. Yener, E. Erkip, O. Simeone, M. Zorzi, P. Grover, K. Huang, "Energy Harvesting Wireless Communications: A Review of Recent Advances," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 3, pp. 360-381, March 2015.
10. J. Huang, Y. Zhou, Z. Ning and H. Gharavi, "Wireless Power Transfer and Energy Harvesting: Current Status and Future Prospects," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 4, pp. 163-169, August 2019.

11. K. Lee and J. Ko, "RF-Based Energy Transfer Through Packets: Still a Dream? or a Dream Come True?," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 163840-163850, October 2019.
12. X. Guan, W. Yang and Y. Cai, "Outage Performance of Statistical CSI Assisted Cognitive Relay with Interference from Primary User," *IEEE Communications Letters*, vol. 17, no. 7, pp. 1416-1419, July 2013.
13. T. X. Doan, T. M. Hoang, T. Q. Duong and H. Q. Ngo, "Energy Harvesting-Based D2D Communications in the Presence of Interference and Ambient RF Sources," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 5224-5234, March 2017.
14. V.-D. Phan, T.N. Nguyen, M. Tran, T.T. Trang, M. Voznak, D.-H. Ha, T.-L. Nguyen, "Power Beacon-Assisted Energy Harvesting in a Half-Duplex Communication Network under Co-Channel Interference over a Rayleigh Fading Environment: Energy Efficiency and Outage Probability Analysis," *Energies*, vol. 12, no. 13, p. 2579, July 2019.
15. A. A. Nasir, X. Zhou, S. Durrani and R. A. Kennedy, "Relaying Protocols for Wireless Energy Harvesting and Information Processing," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 7, pp. 3622-3636, July 2013.
16. Y. Gu and S. Aïssa, "RF-Based Energy Harvesting in Decode-and-Forward Relaying Systems: Ergodic and Outage Capacities," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 11, pp. 6425-6434, November 2015.
17. V.M. Blagojevic, A.M. Cvetkovic, P. Ivanis, "Performance analysis of energy harvesting DF relay system in generalized-K fading environment," *Physical Communication*, vol. 28, pp. 190–200, June 2018.
18. S. Yang, G. Lu, and Y. Ren, "Optimal Power Allocation and Relay Location for DF Energy Harvesting Relaying Sensor Networks," *Sensors*, vol. 19, no. 10, p. 2326, May 2019.
19. T. Camp, J. Boleng, V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communication Mobile Computing*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, September 2002.
20. K. Govindan, K. Zeng and P. Mohapatra, "Probability Density of the Received Power in Mobile Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 11, pp. 3613-3619, November 2011.
21. V. A. Aalo, C. Mukasa and G. P. Efthymoglou, "Effect of Mobility on the Outage and BER Performances of Digital Transmissions over Nakagami- m Fading Channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 4, pp. 2715-2721, April 2016.
22. N.P. Nguyen, T.L. Thanh, T.Q. Duong, and A. Nallanathan, "Secure communications in cognitive underlay networks over Nakagami-m channel," *Physical Communication*, vol. 25, pp. 610-618, December 2017.
23. J. M. Moualeu, D. B. da Costa, W. Hamouda, U. S. Dias and R. A. A. de Souza, "Physical Layer Security Over α - κ - μ and α - η - μ Fading Channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 1, pp. 1025-1029, January 2019.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе у овом истраживању су следеће:

- Побољшање ефикасности коришћења спектралних ресурса могуће је применом концепта когнитивног радија, у коме је секундарним корисницима омогућено коришћење спектра истовремено са примарним корисницима спектра, под условом да генерисана интерференција не премашује унапред дозвољену вредност. Да би ови услови били испуњени, за адаптацију предајне снаге секундарног предајника неопходно је савршено познавање стања у каналу, које није могуће остварити у реалном систему. Заштиту примарног пријемника могуће је спровести и применом статистичке информације о стању канала. Овакво решење је од интереса за сценарије

где је потребно смањити рачунску сложеност при имплементацији, уз одговарајућу лимитирану вероватноћу премашивања дозвољене интерференције на месту примарног пријемника.

- Бежични пренос енергије омогућава практично решење за напајање великог броја чворова у мрежи. Посебно је од интереса пренос енергије путем RF таласа којим се омогућава поуздано напајање, при чему се енергија може прикупљати из постојећих RF сигнала у окружењу или се може наменски достављати жељеном чвору.
- У бежичној когнитивној мрежи потребно је обезбедити комуникацију чворова између којих не постоји директна линија оптичке видљивости или се чворови налазе на великом растојању, тако да применом директног преноса захтеване перформансе не могу бити остварене. У том случају, применом кооперативних релејних чворова може се побољшати поузданост система и област покривености сервисом.
- У савременим системима крајњи корисници нису статични, што утиче на промену пријемне снаге и на перформансе система. За опис модела кретања корисника у литератури је у великој мери заступљен RWP (енгл. *random waypoint*) модел кретања чијом применом се може описати кретање корисника у једној, две, као и три димензије.

4. Научне методе истраживања

При изради дисертације ће бити коришћене следеће методе истраживања:

- Анализа научно-стручне литературе која припада области истовременог бежичног преноса информација и енергије, при чему се енергија може прикупљати од наменског извора или од интерференције у окружењу.
- Анализа научно-стручне литературе која припада области когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције и несавршеном проценом стања у каналу.
- Развој аналитичког модела којим се описује систем са бежичним преносом енергије. Посебна пажња је посвећена моделу когнитивног система са статистичком проценом стања у каналу.
- Перформансе система ће бити анализирани применом статистичких метода, на основу развијеног аналитичког модела, за познате функције густине вероватноће анvelopа фединга у каналу и функције густине вероватноће којима се описује мобилност пријемника. За значајне перформансе система биће изведени аналитички изрази који описују њихову зависност од параметара система и параметара канала.
- Развој независног Монте-Карло симулационог модела којим се процењују перформансе когнитивног система са бежичним преносом енергије и мобилним когнитивним пријемником. Тачност изведених аналитичких изрази биће потврђена независним симулационим поступком.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси су следећи:

- Детаљан преглед литературе и публикованих резултата истраживања из области истовременог бежичног преноса информација и енергије, као и когнитивних кооперативних система са контролисаним нивоом интерференције.
- Извођење аналитичких изрази у затвореном облику (енгл. *closed-form*) који описују перформансе система применом статистичке анализе.
- Анализа утицаја ограничења које дефинише примарни корисник спектра на вероватноћу отказа и капацитет секундарног система. Испитивање утицаја примене бежичног преноса енергије и могућих ограничења.

- Одређивање аналитичких израза који показују утицај мобилности пријемника на перформансе система.
- Анализа утицаја параметара система и канала на безбедност система на физичком слоју.
- Развој Монте Карло симулационог модела система чијом применом се могу проценити перформансе система и потврдити тачност изведених аналитичких израза.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће бити спроведено кроз неколико фаза:

- Преглед постојећих система за ефикасно искоришћење фреквенцијског спектра.
- Преглед постојећих енергетски ефикасних решења за бежично напајање уређаја мале снаге.
- Развој аналитичког модела кооперативног когнитивног система са познавањем статистичке информације о стању канала и бежичним преносом енергије из наменског извора.
- Развој аналитичког модела кооперативног когнитивног система са бежичним преносом енергије и применом релеја, у условима познавања статистичке информације о стању канала.
- Извођење аналитичких израза за значајне мере перформанси енергетски ефикасних когнитивних бежичних система, као и анализа мере заштите информација на физичком слоју.
- Развој Монте Карло симулационог модела система у програмском пакету MATLAB. Потврда изведених аналитичких израза путем независног симулационог модела.
- Анализа утицаја параметара когнитивног система, ограничења примарне мреже и расподеле анvelope фединга у каналу на перформансе система.
- Анализа утицаја мобилности корисника на перформансе система.
- Објављивање резултата кроз научне публикације.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, увида у досадашњи научно-стручни рад кандидаткиње, објављених научних радова, образложења теме докторске дисертације и успешне јавне одбране, закључујемо да је кандидаткиња Надица Козић способна за самосталан научно-истраживачки рад, као и да испуњава све услове за пријаву теме докторске дисертације.

Комисија сматра да је тема „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (енгл. *„Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge“*) научно заснована, у складу са савременим истраживањима, да очекивани резултати дисертације представљају оригиналан научни допринос и да је тема адекватна за докторску дисертацију.

Комисија констатује да предложена тема припада ужој научној области Телекомуникације за коју је Електротехнички факултету Универзитета у Београду матичан и предлаже за ментора докторске дисертације др Весну Благојевић, ванредног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

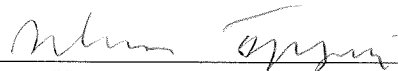
На основу свега наведеног Комисија предлаже Научно-наставном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ и да одобри кандидаткињи Надици Козић израду докторске дисертације под наведеним насловом.

Београд, 11.7.2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



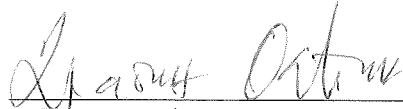
др Весна Благојевић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Горан Т. Ђорђевић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Драган Олћан, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет