



Univerzitet Crne Gore

Univerzitet Crne Gore  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

81000 Podgorica, Dž. Vašingtona bb, tel. (020) 245 839, fax: (020) 245 873  
Ž.R. 510-255-51, PIB: 02016702 302, PDV: 30/31-03951-6



Broj: 02/1-803/1  
Datum: 20.06.2022.

**UNIVERZITET CRNE GORE**

**- Odboru za doktorske studije -**

**- Senatu -**

**O V D J E**

U prilogu dostavljamo Odluku Vijeća Elektrotehničkog fakulteta, sa sjednice od 16.06.2022. godine, o predlogu za formiranje Komisije za ocjenu prijave doktorske disertacije kandidata MSc **Luke Martinovića**, na dalji postupak.



**DEKAN,**

**Prof. dr Saša Mujović**





Univerzitet Crne Gore

Univerzitet Crne Gore  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

81000 Podgorica, Dž. Vašingtona bb, tel. (020) 245 839, fax: (020) 245 873  
Ž.R. 510-255-51, PIB: 02016702 302, PDV: 30/31-03951-6



Broj: 02/1-803  
Datum: 16.06.2022

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore, u vezi sa članom 34 Pravila doktorskih studija, Vijeće Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, na sjednici od 16.06.2022. godine, donijelo je

### ODLUKU

Predlaže se Komisija za ocjenu Prijave doktorske disertacije: „**Kooperativno upravljanje heterogenim multiagentnim sistemima bez razmjene stanja kontrolera**“, kandidata **MSc Luke Martinovića**, u sastavu:

1. Prof. dr Milovan Radulović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore,
2. Prof. dr Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore (mentor),
3. Prof. dr Žarko Zečević, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore.

### -VIJEĆE ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA-



**DEKAN,**

**Prof. dr Saša Mujović**

Dostavljeno:

- Odboru za doktorske studije,
- Senatu,
- u dosije,
- a/a.



**Prof. dr Milovan Radulović**

**UNIVERZITET CRNE GORE**

**Elektrotehnički fakultet**

### **KRATKA BIOGRAFIJA**

Rođen je 1962. godine u Nikšiću gdje je završio osnovnu i srednju školu. Školske 1981/82. godine upisao je studije Elektrotehnike - smjer elektronika, na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici. Na istom fakultetu je diplomirao 1986. godine. Postdiplomske studije upisao je školske 1992/93 godine na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, smjer Robotika i vještačka inteligencija. Magistarski rad odbranio 1995. godine, a doktorirao 2004. godine. U zvanje docenta Univerziteta Crne Gore biran je 2005. godine, a u zvanje redovnog profesora 2021. godine

Publikovao je 54 rada u međunarodnim i domaćim časopisima i na međunarodnim i domaćim konferencijama. Od ovog broja sedam radova je publikovano u vodećim časopisima (Q1 i Q2 časopisi po Scopusovom rangiranju).

Učestvovao je u više evropskih i nacionalnih projekata kao predstavnik Univerziteta Crne Gore. Angažovan je od strane više kompanija i institucija u Crnoj Gori kao stručni konsultant, vršio stručnog nadzora ili revident tehničke dokumentacije. Projektovao je i učestvovao u realizaciji više značajnih infrastrukturnih projekata. Kao član Strukovne komore elektroinženjera IKCG angažovan je u Komisiji za polaganje stručnog ispita kao koordinator za oblast slabe struje tokom 2017. godine. Od strane Centra za stručno obrazovanje i Zavoda za izdavanje udžbenika Crne Gore angažovan sam kao recenzent udžbenika za srednje stručne škole, kao i savjetnik za utvrđivanje kvaliteta u procesu utvrđivanja kvaliteta nastave u srednjim stručnim školama iz oblasti elektrotehnike.

Član je Komisije za Akreditaciju i Tehničkog komiteta za akreditaciju laboratorija Akreditacionog tijela Crne Gore. Član je međunarodne asocijacije elektro inženjera – IEEE, CIGRE i Inženjerske komore Crne Gore. Član je organizacionih i programskih odbora više međunarodnih i domaćih naučno stručnih skupova i konferencija.

**Kontakt:** Elektrotehnički fakultet, Cetinjski put b.b., 81000 Podgorica

milovanr@ucg.ac.me

**Prof. dr Milovan Radulović**

**Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica**

**Uža naučno istraživačka oblast: Automatika**

**Nastava: Elementi sistema automatske regulacije, Upravljanje tehnološkim procesima, Robotika i fleksibilni proizvodni sistemi**

### **Deset najznačajnijih naučno istraživačkih radova**

[1] **Milovan Radulović**, Žarko Zečević, Božo Krstajić, "Dynamic Phasor Estimation by Symmetric Taylor Weighted Least Square Filter", *IEEE Transactions on Power Delivery* (ISSN 0885-8977), vol. 35, no. 2, pp. 828 -836, april 2020. doi: 10.1109/TPWRD.2019.2929246

[2] **Milovan Radulović**, Tomislav B Šekara, Budimir Lutovac, "Decomposition of a class of linear electrical networks for calculation of total power", *SADHANA Academy Proceedings in Engineering Sciences* (ISSN 0973-7677), vol. 43 (9), p.n. 139, septembar 2018., doi: 10.1007/s12046-018-0911-1.

[3] Martin Čalasan, Danilo Mujičić, Vesna Rubežić and **Milovan Radulović**, "Estimation of Equivalent Circuit Parameters of Single-Phase Transformer by Using Chaotic Optimization Approach", *Energies* (ISSN 1996-1073), vol.12 (9), p.n.1697, maj 2019. doi:10.3390/en12091697

[4] Marko Č Bošković, Tomislav B Šekara, **Milovan Radulović**, Marko Cvetković, "A novel method for optimization of PID/PIDC controller under constraints of phase margin and sensitivity to measurement noise based on non-symmetrical optimum method", *ETF Journal of Electrical Engineering*, (ISSN 0354-8653), vol. 22. no.1, pp. 15-23, novembar 2016.

[5] Novica Daković, **Milovan Radulović**, "Flatness and LQR control of Furuta pendulum", *ETF Journal of Electrical Engineering*, (ISSN 0354-8653), vol. 21. no.1, pp. 138-146, decembar 2015

[6] Zecevic, Zarko; Krstajic, Bozo; **Radulovic, Milovan**: 'Frequency-domain adaptive algorithm for improving the active noise control performance', *IET Signal Processing*, 2015, 9, (4), p. 349-356, doi: 10.1049/iet-spr.2014.0182.

[7] Z. Zecevic, B. Krstajic, **M. Radulovic**, „A new adaptive algorithm for improving the ANC system performance,“ *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Volume 69, Issue 1, 2015, Pages 442-448, ISSN 1434-8411, doi: 10.1016/j.aeue.2014.11.002.

[8] L. Popović-Maneski, M. Janković, T. Jovetić, N. Malešević, **M.Radulović**, M. Kostić, G. Bijelić, T. Keller, N. Jorgovanović, V. Illić and D.P. Popović, (2013), „Functional electrical stimulation (FES) for augmenting of the reaching and grasping“, *Proceedings of the 18th IFESS Annual conference 2013*, San Sebastian, Spain, 6-8 June 2013, pp.131-134, ISBN 978-86-7466-462-9.

[9] Dejan Popović, **Milovan Radulović**, Laszlo Schwirtlich, Novak Jauković, "Automatic vs hand-controlled walking of paraplegics", *Medical Engineering & Physics*, Volume 25, Issue 1, January 2003, Pages 63-73, doi:10.1016/S1350-4533(02)00188-1.

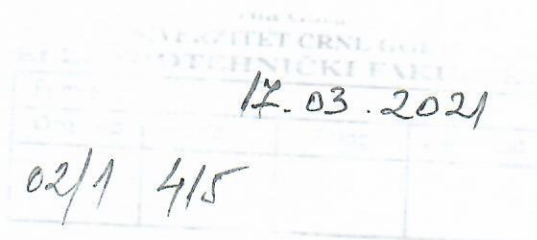
[10] **Milovan Radulović**, Dejan Popović, Novak Jauković, "Control of leg movements driven by electrically stimulated muscles", *Journal of Automatic Control* 2003 Volume 13, Issue 2, Pages: 35-41. doi: 10.2298/JAC0302035R



**Univerzitet Crne Gore**  
adresa / address\_Cetinjska br. 2  
81000 Podgorica, Crna Gora  
telefon / phone\_00382 20 414 255  
fax\_00382 20 414 230  
mail\_rektorat@ucg.ac.me  
web\_www.ucg.ac.me  
**University of Montenegro**

Broj / Ref 03 - 467

Datum / Date 10.03.2021



Na osnovu člana 72 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju („Službeni list Crne Gore“ br 44/14, 47/15, 40/16, 42/17, 71/17, 55/18, 3/19, 17/19, 47/19, 72/19 i 74/20) i člana 32 stav 1 tačka 9 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore na sjednici održanoj 10.03.2021. godine, donio je

## O D L U K U O IZBORU U ZVANJE

**Dr Milovan Radulović** bira se u akademsko zvanje redovni profesor Univerziteta Crne Gore za **oblast Automatika**, na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore, na neodređeno vrijeme.

**SENAT UNIVERZITETA CRNE GORE**  
**PREDSJEDNIK**

Prof. dr **Vladimir Božović**, vršilac funkcije rektora



- **Kratka biografija**

Rođen sam 7. aprila 1968. god. u Žabljaku, gdje sam završio osnovnu školu i prva dva razreda srednjeg usmjerenog obrazovanja. Srednju školu sam završio u gimnaziji "Slobodan Škerović" u Podgorici. Na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici sam diplomirao marta 1992. godine sa prosječnom ocjenom 9,87, a diplomski rad "YAMABICO - upravljanje mobilnim robotom" sam odbranio sa ocjenom 10. Dobitnik sam studentske nagrade "19. decembar" i Plakete Univerziteta kao najbolji student Univerziteta 1991. god. Postdiplomske studije sam upisao na istom fakultetu 1992. godine, na Odsjeku robotike i vještačke inteligencije. Ispite na postdiplomskim studijama sam položio sa prosječnom ocjenom 10, a magistarski rad pod nazivom "Modifikovani adaptivni LMS algoritmi" sam odbranio 1996. godine. Doktorsku disertaciju, pod nazivom "Novi pristup LMS adaptivnom algoritmu sa promjenljivim korakom", odbranio sam 20. 12. 2002. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici.

U zvanje docenta sam izabran 09.07.2003. godine, u zvanje vanrednog profesora 02.10.2008. godine, a zvanje redovnog profesora 19.12.2013. godine na Univerzitetu Crne Gore.

Autor sam ili koautor dvije monografije, više udžbenika za osnovnu školu iz oblasti informatike i više autorizovanih skripti za potrebe nastave na predmetima na kojima je angažovan. Do sada sam objavio preko 150 naučnih i stručnih radova u časopisima i na konferencijama. Pod mojim mentorstvom su uspješno završena: 4 doktorska, 15 magistarskih i preko 150 diplomskih i specijalističkih radova. Recenzirao sam više naučnih radova u istaknutim svjetskim časopisima iz oblasti adaptivnih algoritama i računarskih sistema.

Koordinirao sam i učestvovao u više značajnih evropskih projekata kao predstavnik Univerziteta Crne Gore, a koje finansira Evropska unija u okviru FP6, FP7, TEMPUS, IPA, EUREKA i H2020 programa (SEEREN2, SEE-GRID2, SEE-GRID-SCI, SEERA-EI, GEANT3, NQF&QHE, GEANT3+, HPSEE, EGI-Inspire, DL@WEB, RINGINDEA, FORSEE, CONGRAD, GN4, VI-SEEM, FASTER i NI4OS). Angažovan sam od strane više kompanija i institucija u Crnoj Gori i van nje kao stručni ICT konsultant, projektant ili ekspert, te sam projektovao, nadzirao i realizovao više značajnih stručnih projekata. Od strane sudova u Crnoj Gori sam angažovan kao sudski vještak za oblast ICT-a. Bio sam preko 12 godina direktor Centra informacionog sistema UCG-a.

Predsjednik sam organizacionog i programskog odbora domaćeg naučno-stručnog skupa »INFORMACIONE TEHNOLOGIJE« koja se već 25 godine organizuje i editor sam zadnjih 11 zbornika ove konferencije. Takođe, član sam programskih odbora tri međunarodne konferencije: "Balkan Conference in Informatics", "RoEduNet Conference: Networking in Education and Research" i „ETIMA 2021" kao i član Predsjedništva društva ETRAN. Član sam međunarodne asocijacije elektro inženjera – IEEE, inženjerske komore Crne Gore, Internet zajednice ISOC i Ubuntu zajednice Crne Gore. Menadžer sam nacionalnog .me domena (ccTLD manager). Pokretač sam MREN-a (Montenegrin Research and Education Network) i MIXP-a (Montenegro Internet eXchange Point) i član njihovih odbora.

Govorim engleski jezik, a služim se i ruskim jezikom.

- **Radovi iz oblasti objavljeni u časopisima sa SCI liste u zadnjih 10 godina:**

1. L. Martinović, Ž. Zečević & B. Krstajić, "Cooperative tracking control of single-integrator multi-agent systems with multiple leaders", European Journal of Control, Vol. 63, 2022, Pages 232-239, ISSN: 0947-3580, <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2021.11.003>

2. Z. Zecevic, **B. Krstajic**, "Dynamic Harmonic Phasor Estimation by Adaptive Taylor-Based Bandpass Filter", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Print ISSN: 0018-9456 Online ISSN: 1557-9662, DOI: 10.1109/TIM.2020.3016708
3. M. Radulović, Ž. Zečević and B. Krstajić, „Dynamic Phasor Estimation by Symmetric Taylor Weighted Least Square Filter“, IEEE Transactions on Power Delivery, ISSN: 0885-8977, Volume 35, Issue:2, April 2020, Pages 828-836, DOI: 10.1109/TPWRD.2019.2929246
4. T. Popović, N. Latinović, A. Pešić, Ž. Zečević, **B. Krstajić** and S. Djukanović, „Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study“, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 140, August 2017, Pages 255–265, ISSN: 0168-1699,
5. Ž. Zečević , **B. Krstajić** and T. Popović, „ Improved Frequency Estimation in Unbalanced Three-Phase Power System Using Coupled Orthogonal Constant Modulus Algorithm“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PP, issue 99, June 2016, Print ISSN: 0885-8977, Online ISSN: 1937-4208 (DOI: 10.1109/TPWRD.2016.2586106)
6. L. Filipović and **B. Krstajić**, „ Combined load balancing algorithm in distributed computing environment “, Information technology and Control (ITC), Vol 45, No. 3, 2016., pp. 261 - 266, Print ISSN: 1392-124X, Online ISSN: 2335-884X. (DOI: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.itc.45.3.13084>)
7. L. Filipović, D. Mrdak and **B. Krstajic**, „Performance evaluation of parallel DNA multigene sequence analysis“, Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences, Vol 69, No. 4, 2016. pp.489-496. Print ISSN 1310-1331, Online ISSN 2367-5535.( <http://www.proceedings.bas.bg/>)
8. Ž. Zečević , **B. Krstajić** and M. Radulović, „Frequency-domain adaptive algorithm for improving the active noise control performance“, IET Signal Processing, Volume 9, Issue 4, June 2015, p. 349 – 356 DOI: 10.1049/iet-spr.2014.0182 , Print ISSN 1751-9675, Online ISSN 1751-9683.
9. Ž. Zečević , **B. Krstajić** and M. Radulović, „A new adaptive algorithm for improving the ANC system performance“, AEU-INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS, DOI: 10.1016/j.aeue.2014.11.002, (ISSN:1434-8411), publikovan online 11/2014., Elsevier
10. S. Duli, **B. Krstajic**, "Parallel Implementation of the Weibull Distribution Parameters Estimator", The Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), ISSN 1311-5065, Vol.15, No 1., pp 287 – 293, 2014 (<http://www.jepe-journal.info/vol15-no-1-2014>). SciBulCom Ltd
11. T. Popović, M. Kezunović and **B. Krstajić**, »Implementation requirements for automated fault data analytics in power systems ", INTERNATIONAL TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENERGY SYSTEMS, DOI: 10.1002/etep.1872, (ISSN: 2050-7038), publikovan online 2014., Wiley
12. **B. Krstajić**, Ž. Zečević and Z. Uskoković, » Increasing convergence speed of FxLMS algorithm in white noise environment " AEU-INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS, DOI: 10.1016/j.aeue.2013.04.012, (ISSN:1434-8411), publikovan online 2013., Elsevier
13. T. Popović, M. Kezunović and **B. Krstajić**, »Smart grid data analytics for digital protective relay event recordings", INFORMATION SYSTEMS FRONTIERS, DOI: 10.1007/s10796-013-9434-9, (ISSN: 1387-3326, online ISSN 1572-9419),2013., Springer.



Број: 08-1704  
Датум, 19.12.2013 г.

Ref: \_\_\_\_\_  
Date, \_\_\_\_\_

Na osnovu člana 75 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju (Sl.list RCG, br. 60/03 i Sl.list CG, br. 45/10 i 47/11) i člana 18 stav 1 tačka 3 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 19.12.2013. godine, donio je

**ODLUKU  
O IZBORU U ZVANJE**

**Dr BOŽO KRSTAJIĆ** bira se u akademsko zvanje **redovni profesor** Univerziteta Crne Gore za predmete: Operativni sistemi, osnovne studije-ETR, Adaptivni sistemi upravljanja-specijalističke studije EA, Modelovanje i simulacija dinamičkih sistema-specijalističke studije EA, **na Elektrotehničkom fakultetu i Automatsko upravljanje, na Mašinskom fakultetu.**

УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Број 02/1-2132  
Подгорица, 25.12. 2013 год



**REKTOR**

*Miranović Predrag*  
**Prof.dr Predrag Miranović**



## ŽARKO ZEČEVIĆ – BIOGRAFIJA

Žarko Zečević je rođen 01.01.1989. godine u Nikšiću, gdje je završio osnovnu školu i gimnaziju. Za postignute rezultate u toku školovanja je nagrađen diplomom „Luča“. Elektrotehnički fakultet u Podgorici je upisao 2007. godine. Osnovne studije na odsijeku za Elektroniku, Telekomunikacije i Računare je završio u junu 2010. godine sa prosječnom ocjenom 9,56. Specijalističke studije je završio u junu 2011. godine sa prosječnom ocjenom 10,00. Tokom studija je dva puta nagrađivan od strane fakulteta nagradom za najbolje studente u prethodnoj školskoj godini, i jednom od strane Univerziteta Crne Gore nagradom za najboljeg studenta Elektrotehničkog fakulteta 2007. godine.

Magistarske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, smjer Računari, je upisao 2011. godine, a završio ih 2012. godine sa prosječnom ocjenom 10,00. Magistarski rad pod nazivom „Poboljšanje performansi FxLMS-a u uslovima bijelog šuma“ je odbranio 29.10.2012. Na istom fakultetu je upisao doktorske studije 2012. godine, iz oblasti istraživanja Automatika. Doktorsku tezu pod nazivom „Predlog novog adaptivnog algoritma za poboljšanje performansi ANC sistema“ je odbranio 05.10.2015. godine.

Kao saradnik u nastavi na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici je anagažovan od decembra 2010. godine, u zvanje docenta je izabran u decembru 2016. godine, dok je u zvanje vanrednog profesora izabran u decembru 2021. godine.

Recenzent je u brojnim međunarodnim naučnim časopisima, među kojima su časopisi: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, IEEE Signal Processing Letters, IEEE Transaction on Power Delivery.

Objavio je preko 50 naučnih radova od čega 12 u renomiranim svjetskim časopisima, kao i veći broj radova u drugim međunarodnim i nacionalnim časopisima i na međunarodnim konferencijama. U toku dosadašnjeg rada je učestvovao u realizaciji više nacionalnih i međunarodnih naučnoistraživačkih projekata. Pod njegovim mentorstvom odbranjeno je više magistarskih i specijalističkih radova. Koautor je dva nacionalna patenta.

Član je organizacionog odbora domaćeg naučnostručnog skupa „Informacione Tehnologije“. Takođe je član IEEE – međunarodnog udruženja inženjera elektrotehnike.

## SPISAK RADOVA PUBLIKOVANIH U ČASOPISIMA SA SCI/SCIE LISTE

- [1]. L. Martinović, **Ž. Zečević**, Božo Krstajić, „Cooperative tracking control of single-integrator multi-agent systems with multiple leaders“, European Journal of Control, vo. 63, pp. 232-239, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2021.11.003>.
- [2]. M. Radonjić, **Ž. Zečević**, B. Krstajić. "An IoT System for Real-Time Monitoring of DC Motor Overload", Electronics, vo. 11, no. 10: 1555, 2022, <https://doi.org/10.3390/electronics11101555>.
- [3]. M. Radonjić, S. Vujnović, A. Krstić, **Ž. Zečević**, "IoT System for Detecting the Condition of Rotating Machines Based on Acoustic Signals" *Applied Sciences*, vo. 12, no. 9: 4385, 2022, <https://doi.org/10.3390/app12094385>
- [4]. **Ž. Zečević** and B. Krstajić, "Dynamic Harmonic Phasor Estimation by Adaptive Taylor-Based Bandpass Filter," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 70, pp. 1-9, 2021, Art no. 6500509, ISSN 1557-9662, doi: 10.1109/TIM.2020.3016708.

- [5]. **Ž. Zečević**, M. Rolevski, "Neural Network Approach to MPPT Control and Irradiance Estimation" *Appl. Sci.* 10, no. 15: 5051, ISSN 2076-3417, <https://doi.org/10.3390/app10155051>.
- [6]. **Ž. Zečević**, I. Jokić, T. Popović, B. Krstajić, "An efficient phasor and frequency estimation algorithm for wide frequency range", *Electric Power Systems Research*, Volume 180, 2020, 106124, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106124>.
- [7]. M. Radulović, **Ž. Zečević** and B. Krstajić, "Dynamic Phasor Estimation by Symmetric Taylor Weighted Least Square Filter," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 35, no. 2, pp. 828-836, April 2020, ISSN 0885-8977, doi: 10.1109/TPWRD.2019.2929246
- [8]. **Ž. Zečević**, B. Krstajić and T. Popović, "Improved Frequency Estimation in Unbalanced Three-Phase Power System Using Coupled Orthogonal Constant Modulus Algorithm," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 4, pp. 1809-1816, Aug. 2017, ISSN 0885-8977, doi: 10.1109/TPWRD.2016.2586106.
- [9]. T. Popović, N. Latinović, A. Pešić, **Ž. Zečević**, B. Krstajić, S. Djukanović, „Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study, *Computers and Electronics in Agriculture*“, Volume 140, 2017, pp. 255-265, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008>.
- [10]. **Ž. Zečević**, B. Krstajić, M. Radulović, "Frequency-domain adaptive algorithm for improving the active noise control performance", *IET Signal Process.*, vo. 9, pp. 349-356, 2015, <https://doi.org/10.1049/iet-spr.2014.0182>.
- [11]. **Ž. Zečević**, B. Krstajić, M. Radulović, „A new adaptive algorithm for improving the ANC system performance“, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vo. 69, Issue 1, pp. 442-448, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2014.11.002>.
- [12]. B. Krstajić, **Ž. Zečević**, Z. Uskoković, „Increasing convergence speed of FxLMS algorithm in white noise environment“, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vo. 67, Issue 10, pp. 848-853, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2013.04.012>.



**Univerzitet Crne Gore**  
adresa / address\_Cetinjska br. 2  
81000 Podgorica, Crna Gora  
telefon / phone\_00382 20 414 255  
fax\_00382 20 414 230  
mail\_rektorat@ucg.ac.me  
web\_www.ucg.ac.me  
**University of Montenegro**

Broj / Ref 03-1990

Datum / Date 15.12 2021

21.12.2021

02/1 2169

Na osnovu člana 72 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju („Službeni list Crne Gore“ br. 44/14, 52/14, 47/15, 40/16, 42/17, 71/17, 55/18, 3/19, 17/19, 47/19, 72/19, 74/20 i 104/21) i člana 32 stav 1 tačka 9 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore na sjednici održanoj 15.12.2021. godine, donio je

## **ODLUKU O IZBORU U ZVANJE**

**Dr Žarko Zečević** bira se u akademsko zvanje vanredni profesor Univerziteta Crne Gore za oblast **Automatika** na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore, na period od pet godina.

**SENAT UNIVERZITETA CRNE GORE  
PREDSJEDNIK**

  
**Prof. dr Vladimir Božović, rektor**





06.06.2022.

UNIVERZITET CRNE GORE

Obrazac PD: Prijava teme doktorske disertacije

02/1 422

## PRIJAVA TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Luka Martinović
Fakultet	Elektrotehnički fakultet
Studijski program	Doktorske studije elektrotehnike
Broj indeksa	1/21
Ime i prezime roditelja	Jovo Martinović, Dragana Martinović
Datum i mjesto rođenja	11.11.1996. godine, Bar
Adresa prebivališta	Androvića brijeg 127, Bar
Telefon	+38269263812
E-mail	lukam@ucg.ac.me
BIOGRAFIJA I BIBLIOGRAFIJA	
Obrazovanje	- MSc, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, jul 2021. godine - Spec. Sci, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, jul 2019. godine - BSc, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, jul 2018. godine
Radno iskustvo	Saradnik u nastavi, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, novembar 2020. -
Popis radova	1) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Cooperative tracking control of single-integrator multi-agent systems with multiple leaders," European Journal of Control, Volume 63, 2022, Pages 232-239, ISSN 0947-3580, <a href="https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2021.11.003">https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2021.11.003</a> 2) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Regulated Output Synchronization of Multi-Agent Systems via Output Feedback," 2022 26th International Conference on Information Technology (IT), 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT54280.2022.9743524. 3) L. Martinović, Z. Zečević and B. Krstajić, "Cooperative Tracking Control of Multi-Agent Systems with General Linear Dynamics," 2021 25th International Conference on Information Technology (IT), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT51528.2021.9390134. 4) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Cooperative Output Regulation of Multi-Agent Systems with Single-Integrator Dynamics," 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR51502.2020.9306565. 5) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Distributed Control

	Strategy for Multi-Agent Systems Using Consensus Among Followers," 2020 24th International Conference on Information Technology (IT), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT48810.2020.9070617. 6) V. Vukadinović, L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Comparative analysis of Kalman-type filters for effective wind speed estimation," 2021 25th International Conference on Information Technology (IT), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT51528.2021.9390116.
<b>NASLOV PREDLOŽENE TEME</b>	
Na službenom jeziku	Kooperativno upravljanje heterogenim multiagentnim sistemima bez razmjene stanja kontrolera
Na engleskom jeziku	Cooperative control of heterogeneous multi-agent systems without exchange of controller states
<b>Obrazloženje teme</b>	
<p>Tokom prethodne dvije decenije značajna pažnja istraživača posvećena je problemu kooperativnog upravljanja multiagentnim sistemima (eng. multi-agent systems, MAS). Razlozi za to su široka upotreba, raznovrsna praktična primjena, kao i brojni teorijski izazovi koji se javljaju pri upravljanju multiagentnim sistemima. Pokazano je da je za postizanje kolektivnih ciljeva neophodna međusobna interakcija dinamičkih agenata, zbog čega nije moguće direktno primijeniti metode iz klasične automatike, već se zahtijeva njihova nadogradnja i uvođenje novih koncepata upravljanja. Jedan od fundamentalnih problema u ovoj oblasti je <i>kooperativna regulacija izlaza</i> (eng. cooperative output regulation, COR), gdje glavni zadatak predstavlja dizajniranje distribuiranog upravljačkog zakona (protokola) kojim se postiže da agenti, koji se nazivaju pratiloci, asimptotski prate neku referentnu trajektoriju. Referentnu trajektoriju generiše agent koji se naziva lider i ona je direktno dostupna samo određenom broju pratilaca. Drugi značajni problemi u oblasti kooperativnog upravljanja MAS, kao što su <i>konsenzus bez/luz prisustvo lidera</i>, <i>upravljanje formacijama</i>, <i>containment control</i>, mogu biti posmatrani kao specijalan slučaj ili generalizacija COR problema.</p> <p>Imajući u vidu prethodno navedeno, od ključnog značaja je razvijanje novih upravljačkih protokola koji relaksiraju polazne pretpostavke, zahtijevaju manje komunikacionih i računarskih resursa i obezbjeđuju bolje performanse. Takođe, sve veća primjena multiagentnih sistema i kooperativnog upravljanja (senzorske mreže, jata dronova, IoT sistemi, elektroenergetski sistemi, itd.), kao i veliki broj naučnih referenci novijeg datuma iz ove oblasti su potvrda aktuelnosti i značaja predložene teme.</p>	
<b>Pregled istraživanja</b>	
<p>Hronološki gledano, u najranijim radovima iz oblasti kooperativnog upravljanja MAS razmatran je scenario u kojem svi agenti imaju identičnu dinamiku, tj. agenti formiraju <i>homogenu</i> mrežu. U homogenim mrežama je prirodno razmatrati sinhronizaciju stanja agenata, s obzirom da sve veličine imaju istu fizičku interpretaciju. Glavni pristup rješavanju ovog problema je stabilizacija <i>greške u sinhronizaciji</i>, koja predstavlja kumulativnu mjeru odstupanja stanja pratilaca od stanja lidera [1]. Kako realni agenti često odstupaju od usvojenog nominalnog modela, ili se u opštem slučaju njihovi modeli potpuno razlikuju (po dinamici i/ili broju stanja), od naročitog značaja je razmatranje mreža koje se sastoje od <i>heterogenih</i> agenata. U ovom slučaju, sinhronizacija stanja nema fizičkog smisla, već je prirodno razmatrati sinhronizaciju izlaza agenata. U literaturi je ovaj problem poznat pod nazivom kooperativna regulacija izlaza (COR) [2]–[5]. Naime, cilj je postići sinhronizaciju izlaza svih pratilaca u</p>	

mreži na nenultu trajektoriju generisanu od strane lidera. Važno je naglasiti da termin *regulacija izlaza*, shodno definiciji iz klasičnog upravljanja, podrazumijeva asimptotsko praćenje referentne trajektorije i odbijanje poremećaja čiji je model (frekvencije) poznat [6].

Postoje dva metoda za rješavanje COR problema u MAS, koji su zapravo nadogradnja metoda iz klasične teorije upravljanja. Prvi metod je distribuirani *feedforward* dizajn, koji se zasniva na pretpostavci da postoji rješenje odgovarajućih *regulatorskih jednačina*. Za razliku od klasičnog i decentralizovanog *feedforward* dizajna, u kojima je referentni signal poznat, kod distribuiranog *feedforward* dizajna se javlja dodatni izazov, budući da je referentni signal dostupan određenom broju pratilaca, susjednih lideru. Samim tim, neophodno je da ostali pratioci estimiraju referentni signal na osnovu interakcija sa susjedima, što dovodi do potrebe za distribuiranim opserversom referentnog signala. Pored distribuiranog opserversa, svaki agent sadrži lokalni kontroler koji se zasniva na povratnoj sprezi po stanjima/izlazu i *feedforward* pojačanju. Uloga povratne sprege je stabilizacija dinamike sistema, dok *feedforward* pojačanje obezbjeđuje asimptotsko praćenje referentnog signala. Referentni signal svakog pratioca je izlaz distribuiranog opserversa, koji zapravo konvergira ka izlazu lidera. Vrijednost *feedforward* pojačanja zavisi od rješenja *regulatorskih jednačina*. Temelji ovog pristupa su postavljeni u [7], gdje je za potrebu realizacije distribuiranog opserversa neophodno vršiti razmjenu lokalnih estimacija stanja među agentima. Na osnovu estimacije referentnog signala i potpune informacije o sopstvenom stanju, dizajniran je upravljački zakon koji rješava razmatrani problem. Ovaj pristup je proširen u [8] na slučaj kada je umjesto potpune informacije o sopstvenom stanju dostupna samo informacija o izlaznom signalu agenta. Drugi metod kojim se rješava COR problem je distribuirani *internal model* dizajn, koji je robustniji na promjene parametara u modelu sistema, ali zahtijeva da stroži, tzv. *transmission-zero* uslov, bude zadovoljen [9]. U ovom slučaju je potrebno da kontroler svakog pratioca sadrži *p-kopiju* modela lidera. U suštini, ovom pretpostavkom se garantuje da ne dolazi do skraćivanja nestabilnih polova i nula između modela agenata i *p-kopije* lidera.

Važno je istaći da su *regulatorske jednačine* uvijek zadovoljene kada je *transmission-zero* uslov ispunjen, pri čemu obratno ne važi. Oba pomenuta pristupa rješavanju COR problema su detaljno proučavana i primjenjivana tokom prethodnih godina. Tako u [10], autori se pored analize performansi u stacionarnom stanju bave i analizom performansi tokom prelaznog procesa. Za slučaj MAS sa vremenski-promjenljivom topologijom i kašnjenjima u razmjeni informacija, dizajnirani su COR protokoli [11], [12], dok su adaptivni protokoli koji rješavaju COR problem za slučaj kada model lidera nije poznat ostalim agentima predloženi u [13], [14].

Agente koji interaguju putem mreže je moguće podijeliti prema tipu informacija koje su im dostupne. Ukoliko agenti imaju mogućnost da mjere sopstveno stanje ili izlaz, tada takve agente nazivamo *introspektivnim* [15]. U ovom slučaju postoji više mogućnosti za manipulaciju unutrašnje dinamike agenata i moguće je primijeniti različite šeme upravljanja. Konkretno, upravljački protokoli za *introspektivne* agente koji imaju potpunu informaciju o sopstvenom stanju su predloženi u [7], [9], [16], [17], [13], dok su u opštijem slučaju, upravljački protokoli zasnovani na poznavanju izlaznog signala predloženi u [8], [10], [13], [14]. Pored *introspektivnih* agenata, postoje i takozvani *neintrospektivni* agenti, koji nemaju pristup sopstvenom stanju/izlazu, već mogu da mjere samo relativne informacije u odnosu na susjedne agente [15]. U tom slučaju, kontroler svakog agenta mora biti zasnovan isključivo na relativnim mjerenjima i informacijama dobijenim od susjednih agenata u mreži. U radu [18] je predložen distribuirani kontroler zasnovan na opserversu kojim se obezbjeđuje sinhronizacija izlaza u homogenim mrežama, dok su heterogene mreže razmatrane u [15]. COR problem za linearne,

heterogene, neintrospektivne agente je detaljno izučavan u [19], dok je mreža nelinearnih agenata razmatrana u [20].

Većina predloženih protokola, uključujući i one u prethodno pomenutim referencama, zahtijevaju postojanje komunikacije među agentima, kako bi se vršila razmjena stanja kontrolera i mjerenja. Da bi se smanjili troškovi komunikacije, istraživači su se značajno posvetili dizajnu upravljačkih protokola zasnovanim samo na razmjeni izlaznih signala među susjednim agentima [21], [22]. Štaviše, kada su agenti opremljeni senzorima za relativna mjerenja, komunikacija među njima može u potpunosti biti ukinuta [23], [24], [25], [26]. Međutim, odsustvo interakcije između lokalnih kontrolera onemogućava dekompoziciju dinamike umreženog sistema na dinamiku individualnih agenata, što značajno usložnjava analizu i sintezu lokalnih kontrolera. Pokazano je da, u pomenutom scenariju, tehnika slabog pojačanja (eng. low gain) može biti veoma korisna za dizajn kako distribuiranih feedforward, tako i distribuiranih internal model kontrolera [26], [27], [28]. Nadalje, skorije je pokazano da se tehnike iz  $H_\infty$  teorije upravljanja takođe mogu primijeniti na analizu COR problema u odsustvu interakcije između kontrolera. Upravo su ove tehnike iskorišćene u radovima [29], [30], gdje su dizajnirani COR protokoli bazirani na internal model principu, i to na osnovu sprege po stanjima, odnosno izlazu, respektivno. Štaviše, u [31], pored predloga novog protokola za rješavanje COR problema, pri čemu su uzete u obzir  $H_\infty$  performanse, autori su se bavili i optimizacijom težinskih koeficijenata grana grafa.

Na kraju treba pomenuti da se većina predloženih rješenja odnosi ili na introspektivne ili na neintrospektivne agente. Pored toga, protokoli predloženi u [29]-[30] garantuju rješivost COR problema za desno invertibilne agente, dok feedforward protokol predložen u [23] je razvijen za specijalni slučaj kada su agenti minimalno fazni i sa identičnim relativnim stepenima. Dalje, metode zasnovane na tehnikama malog pojačanja [27], [28] garantuju rješivost COR problema kada nema poremećaja, dok feedforward metod zasnovan na  $H_\infty$  teoriji [24] ne garantuje rješivost COR problema. Prezentovani pregled istraživanja ukazuje na postojanje širokog istraživačkog prostora za unapređenje rezultata iz oblasti upravljanja multiagentnim sistemima.

#### Cilj i hipoteze

Glavni cilj disertacije je razvoj originalnih distribuiranih feedforward protokola za kooperativno upravljanje multiagentnim sistemima, koji neće zahtijevati razmjenu internih stanja kontrolera. Susjedni agenti će putem mrežne infrastrukture razmjenjivati samo mjerenja izlaznog signala, čime će komunikacija biti značajno smanjena. Takođe će biti razmotren zahtjevniji scenario upravljanja u kom agenti mogu da mjere samo relativne izlaze u odnosu na svoje susjede. U ovom slučaju računarska komunikacija između agenata bi mogla biti potpuno ukinuta, dok bi agenti bili umreženi samo putem senzora, tj. relativnih mjerenja.

Hipoteze ove disertacije su sljedeće:

H1 – Moguće je dizajnirati distribuirani feedforward kontroler za rješavanje COR problema u heterogenim MAS kod kojeg će biti eliminisana razmjena stanja kontrolera i time značajno smanjena komunikacija.

H2 – Primjenom teoreme malog pojačanja i  $H_\infty$  teorije robustnog upravljanja moguće je analizirati stabilnost MAS na nivou individualnog agenta i razviti metod za određivanje parametara kontrolera.

H3 – Predloženim upravljačkim protokolom, rješivost COR problema će biti zagarantovana za

širu klasu sistema u odnosu na druga rješenja dostupna u literaturi.

H4 – Generalizacijom predloženog distribuiranog kontrolera će se moći riješiti i containment control problem.

#### **Materijali, metode i plan istraživanja**

Istraživanje će biti podijeljeno u nekoliko faza. Nakon sveobuhvatne analize postojećih rješenja, u prvoj fazi biće dat predlog distribuiranog kontrolera za rješavanje COR problema u linearnim, heterogenim MAS. Predloženi kontroler će biti feedforward tipa, odnosno biće zasnovan na opserveru referentnog signala. Takođe, predloženi kontroler neće zahtijevati međusobnu razmjenu stanja kontrolera, već će se putem mrežne infrastrukture vršiti samo razmjena mjerenja izlaznog signala. U slučaju kada su agenti neintrospektivni, smatraće se da mogu da mjere relativne izlaze u odnosu na svoje susjede. Stoga, za realizaciju ovakvog kontrolera neće biti potrebno uspostavljati komunikaciju između agenata. Nakon definisanja upravljačkih protokola, biće izvršeno modelovanje kolektivnog multiagentnog sistema za introspektivne i neintrospektivne agente. Rezultujući modeli omogućiće dalju analizu MAS.

U drugoj fazi istraživanja najprije će biti izvršena analiza stabilnosti MAS. S obzirom da kontroleri međusobno ne vrše razmjenu internih stanja, standardnim metodama neće biti moguće dekomponovati dinamiku MAS na dinamiku individualnih agenata. Umjesto toga, koristiće se teorema malog pojačanja (eng. small gain theorem) i  $H_\infty$  metode robustnog upravljanja koje će omogućiti izvođenje dovoljnog uslova stabilnosti. U skladu sa definisanim lokalnim uslovom stabilnosti, biće razvijen metod za određivanje parametara predloženog upravljačkog protokola. Biće izvedene algebarske Rikatijske jednačine na osnovu kojih će se određivati parametri lokalnih opservera, nakon čega će se problem određivanja parametara kontrolera moći formulisati u obliku linearnih matričnih nejednačina, koje se u suštini mogu svesti na konveksan optimizacioni problem. Na kraju, biće izvršena analiza rješivosti COR problema za različite klase linearnih sistema (minimalno fazne, stabilne, desno invertibilne, itd), kao i za različite topologije mreža (aciklične, ciklične, itd.).

U trećoj fazi dobijeni teorijski rezultati će biti potvrđeni putem numeričkih eksperimenata. Simulacija MAS i kontrolera biće izvršena u Matlab okruženju. Za određivanje koeficijenata kontrolera biće korišćen MOSEK solver i YALMIP optimizacioni paket. Simulacijama će biti obuhvaćeni različiti prethodno analizirani scenariji, tj. različite klase sistema i mrežnih topologija. Biće izvršena sveobuhvatna analiza uticaja različitih parametara razvijenih algoritama na performanse MAS. Takođe, biće simulirani neki ilustrativni primjeri primjene razvijene metode u upravljanju multirobotskim sistemima.

U četvrtoj fazi, biće razmotren takozvani containment control problem, koji predstavlja generalizaciju COR problema na slučaj kada u mreži postoji više lidera. Cilj je da se izlazi svih agenata nalaze u minimalnom konveksnom skupu (konveksnom omotaču), generisanom od strane izlaza lidera. Prilikom dizajna protokola će se takođe voditi računa o smanjenju komunikacije između agenata, tj. cilj je da agenti putem mrežne infrastrukture razmjenjuju samo fizička mjerenja. Stabilnost MAS će biti analizirana putem  $H_\infty$  teorije, biće razvijeni metodi za odabir pojačanja kontrolera i analizirana rješivost containment control problema za različite klase agenata, odnosno za različite mrežne topologije. Na kraju, teorijski rezultati će biti verifikovani putem numeričkih eksperimenata u Matlab-u.

#### **Očekivani naučni doprinos**

U ovoj disertaciji će biti predloženi novi distribuirani feedforward protokoli za upravljanje heterogenim MAS, koji neće zahtijevati razmjenu internih stanja kontrolera. Na ovaj način



komunikacija između agenata će biti značajno smanjena ili potpuno ukinuta. Neintrospektivni i introspektivni agenti će biti razmatrani u jedinstvenom teorijskom okviru koji se zasniva na metodama iz  $H_\infty$  teorije upravljanja. Biće uveden novi metod za sintezu kontrolera, koji će garantovati rješivost razmatranih upravljačkih problema za širu klasu sistema u odnosu na rješenja dostupna u literaturi. Putem numeričkih simulacija biće izvršena sveobuhvatna analiza uticaja različitih parametara razvijenih metoda na performanse MAS, pri čemu će biti razmotrene različite klase agenata i mrežnih topologija.

Rezultati inicijalnih istraživanja su verifikovani i objavljeni u 1), 2), a očekivani naučni doprinosi će biti validirani i prezentovani široj naučnoj javnosti u renomiranim naučnim časopisima iz ove oblasti.

#### Spisak objavljenih radova kandidata

- 1) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Cooperative tracking control of single-integrator multi-agent systems with multiple leaders," *European Journal of Control*, Volume 63, 2022, Pages 232-239, ISSN 0947-3580, <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2021.11.003>
- 2) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Regulated Output Synchronization of Multi-Agent Systems via Output Feedback," 2022 26th International Conference on Information Technology (IT), 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT54280.2022.9743524.
- 3) L. Martinović, Z. Zečević and B. Krstajić, "Cooperative Tracking Control of Multi-Agent Systems with General Linear Dynamics," 2021 25th International Conference on Information Technology (IT), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT51528.2021.9390134.
- 4) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Cooperative Output Regulation of Multi-Agent Systems with Single-Integrator Dynamics," 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR51502.2020.9306565.
- 5) L. Martinović, Ž. Zečević and B. Krstajić, "Distributed Control Strategy for Multi-Agent Systems Using Consensus Among Followers," 2020 24th International Conference on Information Technology (IT), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT48810.2020.9070617.

#### Popis literature

- [1] M. Mesbahi and M. Egerstedt, *Graph theoretic methods in multiagent networks*. Princeton University Press, 2010. doi: 10.1515/9781400835355.
- [2] Y. Su and J. Huang, "Cooperative output regulation of linear multi-agent systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 57, no. 4, pp. 1062–1066, Apr. 2012, doi: 10.1109/TAC.2011.2169618.
- [3] Y. Su and J. Huang, "Cooperative output regulation of linear multi-agent systems by output feedback," *Systems & Control Letters*, vol. 61, no. 12, pp. 1248–1253, Dec. 2012, doi: 10.1016/J.SYSCONLE.2012.09.005.
- [4] Y. Su, Y. Hong, and J. Huang, "A general result on the robust cooperative output regulation for linear uncertain multi-agent systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 58, no. 5, pp. 1275–1279, 2013, doi: 10.1109/TAC.2012.2229837.
- [5] X. Wang, Y. Hong, J. Huang, and Z. P. Jiang, "A distributed control approach to a robust output regulation problem for multi-agent linear systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 55, no. 12, pp. 2891–2895, Dec. 2010, doi: 10.1109/TAC.2010.2076250.
- [6] J. Huang, "Nonlinear Output Regulation," *Nonlinear Output Regulation*, Jan. 2004, doi: 10.1137/1.9780898718683.
- [7] Y. Su and J. Huang, "Cooperative output regulation of linear multi-agent systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 57, no. 4, pp. 1062–1066, Apr. 2012, doi: 10.1109/TAC.2011.2169618.
- [8] Y. Su and J. Huang, "Cooperative output regulation of linear multi-agent systems by

- output feedback,” *Systems & Control Letters*, vol. 61, no. 12, pp. 1248–1253, Dec. 2012, doi: 10.1016/J.SYSCONLE.2012.09.005.
- [9] Y. Su, Y. Hong, and J. Huang, “A general result on the robust cooperative output regulation for linear uncertain multi-agent systems,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 58, no. 5, pp. 1275–1279, 2013, doi: 10.1109/TAC.2012.2229837.
- [10] G. S. Seyboth, W. Ren, and F. Allgöwer, “Cooperative control of linear multi-agent systems via distributed output regulation and transient synchronization,” *Automatica*, vol. 68, pp. 132–139, Jun. 2016, doi: 10.1016/J.AUTOMATICA.2016.01.068.
- [11] M. Lu and L. Liu, “Distributed feedforward approach to cooperative output regulation subject to communication delays and switching networks,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 62, no. 4, pp. 1999–2005, Apr. 2017, doi: 10.1109/TAC.2016.2594151.
- [12] Y. Yan and J. Huang, “Cooperative robust output regulation problem for discrete-time linear time-delay multi-agent systems,” *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 28, no. 3, pp. 1035–1048, Feb. 2018, doi: 10.1002/RNC.3917.
- [13] H. Su, J. Chen, X. Chen, and H. He, “Adaptive observer-based output regulation of multiagent systems with communication constraints,” *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 51, no. 11, pp. 5259–5268, Nov. 2021, doi: 10.1109/TCYB.2020.2995147.
- [14] Y. Y. Qian, L. Liu, and G. Feng, “Cooperative Output Regulation of Linear Multiagent Systems: An Event-Triggered Adaptive Distributed Observer Approach,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 66, no. 2, pp. 833–840, Feb. 2021, doi: 10.1109/TAC.2020.2985947.
- [15] H. F. Grip, T. Yang, A. Saberi, and A. A. Stoorvogel, “Output synchronization for heterogeneous networks of non-introspective agents,” *Automatica*, vol. 48, no. 10, pp. 2444–2453, Oct. 2012, doi: 10.1016/J.AUTOMATICA.2012.06.081.
- [16] M. Lu and L. Liu, “Distributed feedforward approach to cooperative output regulation subject to communication delays and switching networks,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 62, no. 4, pp. 1999–2005, Apr. 2017, doi: 10.1109/TAC.2016.2594151.
- [17] Y. Yan and J. Huang, “Cooperative robust output regulation problem for discrete-time linear time-delay multi-agent systems,” *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 28, no. 3, pp. 1035–1048, Feb. 2018, doi: 10.1002/RNC.3917.
- [18] H. Zhang, F. L. Lewis, and A. Das, “Optimal design for synchronization of cooperative systems: State feedback, observer and output feedback,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 56, no. 8, pp. 1948–1952, Aug. 2011, doi: 10.1109/TAC.2011.2139510.
- [19] Y. Su, “Output Feedback Cooperative Control for Linear Uncertain Multi-Agent Systems With Nonidentical Relative Degrees,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 61, no. 12, pp. 4027–4033, Dec. 2016, doi: 10.1109/TAC.2016.2541301.
- [20] L. Wang, C. Wen, and H. Su, “Cooperative semiglobal robust output regulation of non-introspective nonlinear agents with partial normal form and state-dependent high-frequency gain,” *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 388–402, Mar. 2019, doi: 10.1109/TCNS.2018.2834309.
- [21] H. Kim, H. Shim, and J. H. Seo, “Output consensus of heterogeneous uncertain linear multi-agent systems,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 56, no. 1, pp. 200–206, Jan. 2011, doi: 10.1109/TAC.2010.2088710.
- [22] X. Wang, Y. Hong, J. Huang, and Z. P. Jiang, “A distributed control approach to a robust output regulation problem for multi-agent linear systems,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 55, no. 12, pp. 2891–2895, Dec. 2010, doi: 10.1109/TAC.2010.2076250.
- [23] Y. Su and J. Huang, “Cooperative robust output regulation of a class of heterogeneous

- linear uncertain multi-agent systems,” *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 24, no. 17, pp. 2819–2839, Nov. 2014, doi: 10.1002/RNC.3027.
- [24] Y. Li, X. Wang, J. Xiang, and W. Wei, “Synchronised output regulation of leader-following heterogeneous networked systems via error feedback,” <http://dx.doi.org/10.1080/00207721.2014.902227>, vol. 47, no. 4, pp. 755–764, Mar. 2014, doi: 10.1080/00207721.2014.902227.
- [25] Y. Lv, G. Wen, T. Huang, and Z. Duan, “Adaptive attack-free protocol for consensus tracking with pure relative output information,” *Automatica*, vol. 117, p. 108998, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.AUTOMATICA.2020.108998.
- [26] H. F. Grip, A. Saberi, and A. A. Stoorvogel, “Synchronization in networks of minimum-phase, non-introspective agents without exchange of controller states: Homogeneous, heterogeneous, and nonlinear,” *Automatica*, vol. 54, pp. 246–255, Apr. 2015, doi: 10.1016/J.AUTOMATICA.2015.01.011.
- [27] M. Lu and L. Liu, “Cooperative output regulation of linear multi-agent systems by a novel distributed dynamic compensator,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 62, no. 12, pp. 6481–6488, 2017, doi: 10.1109/TAC.2017.2658026.
- [28] M. Lu, “A Sensory Feedback Based Discrete Distributed Observer to Cooperative Output Regulation,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, pp. 1–1, Mar. 2022, doi: 10.1109/TAC.2022.3162545.
- [29] C. Huang and X. Ye, “Cooperative output regulation of heterogeneous multi-agent systems: An  $H_\infty$  criterion,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 59, no. 1, pp. 267–273, 2014, doi: 10.1109/TAC.2013.2272133.
- [30] F. Adib Yaghmaie, F. L. Lewis, and R. Su, “Output regulation of linear heterogeneous multi-agent systems via output and state feedback,” *Automatica*, vol. 67, pp. 157–164, May 2016, doi: 10.1016/J.AUTOMATICA.2016.01.040.
- [31] X. Li, Y. C. Soh, L. Xie, and F. L. Lewis, “Cooperative Output Regulation of Heterogeneous Linear Multi-Agent Networks via  $H_\infty$  Performance Allocation,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 64, no. 2, pp. 683–696, Feb. 2019, doi: 10.1109/TAC.2018.2838048.

**SAGLASNOST PREDLOŽENOG/IH MENTORA I DOKTORANDA SA PRIJAVOM**

Odgovorno potvrđujem da sam saglasan sa temom koja se prijavljuje.

Prvi mentor

Prof. dr Božo Krstajić

Doktorand

MSc Luka Martinović

**IZJAVA**

Odgovorno izjavljujem da doktorsku disertaciju sa istom temom nisam prijavio/la ni na jednom drugom fakultetu.

 U Podgorici,  
 07.06.2022.god.

Luka Martinović

Na osnovu člana 33 Zakona o upravnom postupku ("Službeni list CG", br. 56/14, 20/15, 40/16 i 37/17), člana 115 Zakona o visokom obrazovanju ("Službeni list CG", br. 44/14, 52/14, 47/15, 40/16, 42/17, 71/17, 55/18, 3/19, 17/19, 47/19, 72/19, 74/20 104/21) i službene evidencije, a po zahtjevu studenta Martinović Jovo Luka, izdaje se

## UVJERENJE O POLOŽENIM ISPITIMA

Student **Martinović Jovo Luka**, rođen **11-11-1996** godine u mjestu **Bar**, opština **Bar**, Republika **Crna Gora**, upisan je studijske **2021/2022** godine, u **I** godinu studija, kao student koji se **finansira iz Budžeta Crne Gore** na **doktorske akademske studije**, studijski program **ELEKTROTEHNIKA**, koji realizuje **ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET - Podgorica** Univerziteta Crne Gore u trajanju od **3 (tri)** godine sa obimom **180** ECTS kredita.

Student je položio ispite iz sljedećih predmeta:

Redni broj	Semestar	Naziv predmeta	Ocjena	Uspjeh	Broj ECTS kredita
1.	1	DISTRIBUIRANI UPRAVLJAČKI SISTEMI(NAPREDNI KURS)	"A"	(odličan)	8.00
2.	1	ISTORIJA IDEJA I TEORIJA U ELEKTROTEHNICI	"A"	(odličan)	8.00
3.	1	METODOLOGIJA NAUČNO-ISTRAŽIVAČKOG RADA	"A"	(odličan)	8.00
4.	1	PRIMJENJENI EMBEDDED SISTEMI	"A"	(odličan)	8.00
5.	2	UMREŽENI I VIŠEAGENTNI SISTEMI UPRAVLJANJA	"A"	(odličan)	8.00

Zaključno sa rednim brojem **5**.

Ostvareni uspjeh u toku dosadašnjih studija je:

- srednja ocjena položenih ispita **"A" (10.00)**
- ukupan broj osvojenih ECTS kredita **40.00** ili **66.67%**
- indeks uspjeha **6.67**.

*Uvjerenje se izdaje na osnovu službene evidencije, a u svrhu ostvarivanja prava na: (dječji dodatak, porodičnu penziju, invalidski dodatak, zdravstvenu legitimaciju, povlašćenu vožnju za gradski saobraćaj, studentski dom, studentski kredit, stipendiju, regulisanje vojne obaveze i slično).*

Broj:  
Podgorica, 15.06.2022 godine



SEKRETAR,

PO OVLAŠĆENJU SEKRETARA  
Referent Studentske službe  
*Slayka Petrović*  
*S Petrovic*