



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: 02/1-1026/1

Datum: 22.07.2022.

UNIVERZITET CRNE GORE

- Odboru za doktorske studije -

- Senatu -

O V D J E

U prilogu dostavljamo Odluku Vijeća Elektrotehničkog fakulteta sa sjednice od 20.07.2022. godine i **obrazac D1**, sa pratećom dokumentacijom, za kandidata MSc **Luku Martinovića**, na dalje postupanje.



DEKAN,

Prof. dr Saša Mujović





Broj: 02/11-1026
Datum: 20.07.2022

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore, u vezi sa članom 35 Pravila doktorskih studija, Vijeće Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, na elektronskoj sjednici od 20.07.2022. godine, donijelo je

ODLUKU

Daje se pozitivno mišljenje i prihvata Izvještaj Komisije za ocjenu prijave doktorske disertacije: „**Kooperativno upravljanje heterogenim multiagentnim sistemima bez razmjene stanja kontrolera**“, kandidata MSc Luke Martinovića.

-VIJEĆE ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA-



DEKAN,
Prof. dr Saša Mujović

Dostavljeno:

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





OCJENA PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Luka Martinović
Fakultet	Elektrotehnički fakultet
Studijski program	Doktorske studije elektrotehnike
Broj indeksa	01/21
Podaci o magistarskom radu	Naziv MSc rada: „Predlog distribuiranog algoritma za upravljanje umreženim multiagentnim sistemima“ Naučna oblast: Automatika Institucija: Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore Magistarske studije završene u julu 2021. godine, sa prosječnom ocjenom 10.
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
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
Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice	20. 07. 2022. god.
Naučna oblast doktorske disertacije	Automatika
Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti	
Elektrotehnički fakultet	
A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE	
<p>Javna odbrana polaznih istraživanja doktorske disertacije radnog naslova „Kooperativno upravljanje heterogenim multiagentnim sistemima bez razmjene stanja kontrolera“ kandidata MSc Luke Martinovića održana je 18. jula 2022. u Laboratoriji za automatiku u terminu od 09:30h do 10:50h, pred komisijom u sastavu:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Prof. dr Milovan Radulović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore2. Prof. dr Božo Krstajić, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore (mentor)3. Prof. dr Žarko Zečević, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore <p>Komisija je imenovana Odlukom Senata Univerziteta Crne Gore br. 03-116/4 od 04.07.2022. godine.</p> <p>Kandidat je na jasan i metodičan način obrazložio temu doktorske disertacije, dao pregled dosadašnjih istraživanja, prezentovao postavljene hipoteze i cilj same disertacije. Glavni cilj istraživanja je razvoj originalnih distribuiranih feedforward protokola za kooperativno upravljanje multiagentnim sistemima, koji neće zahtijevati razmjenu internih stanja kontrolera i kandidat je</p>	

predstavio metode koje planira da koristi u postizanju navedenog cilja. Konačno, kandidat je detaljno naveo plan realizacije istraživanja i očekivani naučni doprinos.

Nakon izlaganja kandidata, članovi Komisije su postavljali pitanja, prije svega o postavljenim hipotezama i fazama istraživanja, kao i o distribuiranim feedforward protokolima za kooperativno upravljanje multiagentnim sistemima sa ili bez razmjene stanja kontrolera. Na sva pitanja je kandidat uspješno odgovorio i pojašnjavao ideje i dosadašnje rezultate istraživanja. Na kraju su članovi Komisije ukazali kandidatu na određene aspekte koje bi trebao uzeti u obzir tokom istraživanja i moguće pravce primjene i validacije istraživanja.

B. OCJENA PODOBNOSTI TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

B1. Obrazloženje teme

Oblast kooperativnog upravljanja multiagentnim sistemima je poprimila značajnu pažnju od strane istraživača tokom prethodne dvije decenije. Razlozi za to su široka upotreba, raznovrsna praktična primjena, kao i brojni teorijski izazovi koji se javljaju pri upravljanju multiagentnim sistemima. Za postizanje kolektivnih ciljeva neophodna je međusobna interakcija dinamičkih agenata, što onemogućuje direktnu primjenu metoda iz klasične teorije upravljanja i zahtijeva njihovu nadogradnju i uvođenje novih koncepata upravljanja. Problem kooperativne regulacije izlaza u multiagentnim sistemima je jedan od fundamentalnih problema, gdje je glavni zadatak dizajniranje distribuiranog upravljačkog protokola kojim se postiže asimptotsko praćenje referentne trajektorije, koju generiše lider, od strane pratilaca. Generalizacijom ovog problema, za slučaj kada u mreži ima više lidera, dolazi se do containment control problema, koji takođe predstavlja jedan od veoma aktuelnih problema iz ove oblasti.

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.

B2. 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 zahtijevniji 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 problema kooperativne regulacije izlaza sistema u heterogenim multiagentnim sistemima kod kojeg će biti eliminisana razmjena stanja kontrolera i time značajno smanjena komunikacija.

H2 – Primjenom teoreme malog pojačanja i H_∞ teorije robustnog upravljanja moguće je analizirati stabilnost multiagentnog sistema na nivou individualnog agenta i razviti metod za određivanje parametara kontrolera.

H3 – Predloženim upravljačkim protokolom, rješivost problema kooperativne regulacije izlaza sistema 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.

B3. Metode i plan istraživanja

Plan istraživanja će biti podijeljen u nekoliko faza. Nakon sveobuhvatne analize postojećih rješenja, u prvoj fazi biće dat predlog distribuiranog kontrolera za rješavanje problema kooperativne regulacije izlaza sistema u linearnim, heterogenim multiagentnim sistemima. 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 multiagentnog sistema.

U drugoj fazi istraživanja najprije će biti izvršena analiza stabilnosti multiagentnog sistema. S obzirom da kontroleri međusobno ne vrše razmjenu internih stanja, standardnim metodama neće biti moguće dekomponovati dinamiku kolektivnog sistema na dinamiku individualnih agenata. Umjesto toga, koristiće se teorema malog pojačanja (eng. small gain theorem) i H_∞ 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 matičnih nejednačina, koje se u suštini mogu svesti na konveksan optimizacioni problem. Na kraju, biće izvršena analiza rješivosti problema kooperativne regulacije izlaza sistema 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 multiagentnog sistema 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 multiagentnih sistema. Takođe, biće simulirani neki ilustrativni primjeri primjene razvijene metode u upravljanju multirobotkim sistemima.

U četvrtoj fazi, biće razmotren takozvani containment control problem, koji predstavlja generalizaciju problema kooperativne regulacije izlaza sistema 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 multiagentnog sistema će biti analizirana putem H_∞

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 eksperimentata u Matlab-u.

B4. Naučni doprinos

U ovoj disertaciji će biti predloženi novi distribuirani feedforward protokoli za upravljanje heterogenim multiagentnim sistemima, 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_∞ 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 multiagentnog sistema, pri čemu će biti razmotrene različite klase agenata i mrežnih topologija.

B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja

Mišljenje Komisije je da kandidat uz sopstvene napore i podršku mentora može obezbijediti odgovarajuće organizacione uslove za izradu ove doktorske disertacije.

U pogledu finansijske izvodljivosti, potrebna sredstva za publikovanje naučnih radova, kao i za učešće i prezentovanje na naučnoistraživačkim konferencijama, biće izdvojena iz Fonda za naučnoistraživački rad mentora i kandidata, u okviru sredstava koje Elektrotehnički fakultet izdvađa za svoje nastavnike i saradnike.


Mišljenje i prijedlog komisije

Komisija za ocjenu prijave doktorske disertacije je, nakon razmatranja prijave teme i odbrane polaznih istraživanja, mišljenja da polazna istraživanja, na temu „Kooperativno upravljanje multiagentnim sistemima bez razmjene stanja kontrolera“ kandidata MSc Luke Martinovića, ukazuju da je u pitanju ambiciozan i originalan naučni projekat koji ima ohrabrujuće početne rezultate i evidentan potencijal za ostvarenje prezentovanog cilja. Faze i metodologija istraživanja, kao i izazovi koje treba prevazići, su prepoznati i precizno definisani. Kandidat će, pored originalnog protokola upravljanja, predložiti i novi metod za sintezu kontrolera, koji će garantovati rješivost razmatranih upravljačkih problema za širu klasu sistema u odnosu na rješenja dostupna u literaturi.

Uzimajući u obzir gore navedeno, Komisija smatra da je predložena tema istraživanja veoma aktuelna i na nivou istraživanja doktorske disertacije. Stoga Komisija zaključuje da je kandidat uspješno odbranio polazna istraživanja, te predlaže Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da odobri nastavak rada na doktorskoj disertaciji pod radnim naslovom „Kooperativno upravljanje heterogenim multiagentnim sistemima bez razmjene stanja kontrolera“ kandidatu MSc Luki Martinoviću.

Prijedlog izmjene naslova

Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora

Planirana odbrana doktorske disertacije	
Izdvojeno mišljenje	
Napomena	
ZAKLJUČAK	
Predložena tema po svom sadržaju odgovara nivou doktorskih studija.	DA
Tema je originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.	DA
Kandidat može na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze.	DA
Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata	
Prof. dr Milovan Radulović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	<i>Radulovic</i>
Prof. dr Božo Krstajić, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	<i>Krstajic</i>
Prof. dr Žarko Zečević, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	<i>Haris Zecovic</i>
U Podgorici, 20.04.2022.god.	DEKAN <i>Haris Zecovic</i>
	

PRILOG

PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA	
Prof. dr Milovan Radulović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	U kojoj mjeri pretpostavka o linearnim modelima agenata ograničava praktičnu primjenu predloženih upravljačkih protokola? Pod kojim uslovima je predložena rješenja moguće primijeniti na nelinearne sisteme, kao što su multirobotski sistemi?
Prof. dr Božo Krstajić, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	Da li je moguće izvršiti sintezu parametara upravljačkog zakona tako što će se istovremeno određivati pojačanja kontrolera i opservera, a da pritom uslov za H_∞ normu bude zadovoljen?
Prof. dr Žarko Zečević, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore	Koje su prednosti, a koje mane upravljačkih protokola zasnovanih na feedforward pojačanju u odnosu na one koji se projektuju na principu unutrašnjeg modela?
PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI	
(Ime i prezime)	<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>
ZNAČAJNI KOMENTARI	
<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>	



**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
ELEKTROTEHNIKA**

Broj dosijea: 1/2021

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 i 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