

пк ванр. проф. др Димитрије Бујаковић, дипл.инж.
пк ванр. проф. др Слободан Симић, дипл.инж.
ред. проф. др Милан Рапаић, дипл.инж.
пк ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл.инж.
пш ванр. проф. др Момир Станковић, дипл.инж.

Оцена научне заснованости теме
докторске дисертације, ИЗВЕШТАЈ.-

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ВОЈНЕ АКАДЕМИЈЕ

Одлуком Наставно-научног већа Војне академије Број 62-360 од 30. децембра 2024. године одређени смо у комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације студента ДАС ВЕИ Бенијахија Ахмед Таки-Единеа, под радним називом:

„Пројектовање и реализација напредних управљачких алгоритама за смањење утицаја шума мерења”

Након проучавања пријаве теме докторске дисертације у складу са чланом 4. Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације и промоцији доктора наука (СВЛ бр. 07/24) подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОЦЕНА ИДЕЈНОГ ПРОЈЕКТА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат је у идејном пројекту докторске дисертације предложио следећи радни наслов теме докторске дисертације „Пројектовање и реализација напредних управљачких алгоритама за смањење утицаја шума мерења”.

Системи аутоматског управљања представљају основу савремених технолошких решења, омогућавајући аутономан рад уређаја и процеса у широком спектру примена, од индустријских постројења и процеса до роботике и аутономних возила. Ови системи функционишу кроз три кључне компоненте: мерење стања система, доношење управљачких одлука на основу тих мерења и примену тих одлука како би се постигао жељени циљ. Сензори играју суштинску улогу у првој фази, обезбеђујући податке о кључним параметрима система, као што су положај, брзина, температура, притисак или друге физичке величине. Ови подаци су од виталног значаја за исправан рад алгоритама за управљање, јер се користе за процену тренутног стања система и као основа за доношење управљачких одлука. Са

развојем технологије, сензори постају све прецизнији, компактнији и доступнији, што омогућава примену система аутоматског управљања у све комплекснијим сценаријима.

1.1. Научни проблем

Као што је већ напоменуто, у системима аутоматског управљања сензори представљају кључне уређаје за мерење параметара система који су неопходни за реализацију алгоритама аутоматског управљања. Међутим, квалитет излазних података сензора често је нарушен због појаве мерних шума који се суперпонирају на користан сигнал. Узроци појаве мерних шума могу бити различите природе, као што су несавршености конструкције сензора, вибрације и други поремећаји из окружења, као и намерно генерисане спољне сметње, што је често присутно у војним применама, где системи раде у условима електронског ометања. Постојање мерног шума може значајно утицати на стабилност система аутоматског управљања и деградацију перформанси система, што отежава пројектовање прецизних управљачких алгоритама, често захтевајући додатно филтрирање сигнала сензора и/или примену робусних стратегија управљања како би се обезбедиле задовољавајуће перформансе и поуздан рад целокупног система управљања.

1.2. Предмет истраживања

У циљу решења описаног научног проблема, предмет истраживања ове дисертације је примена напредних алгоритама управљања за смањење утицаја мерног шума, заснованих на примени каскадних опсерверских структура у петљи управљања. Конкретно, анализираће се примена техника управљања са каскадним структурама проширених опсервера стања (енг. Cascade Extended State Observer - CESO), за смањење утицаја шума мерења без нарушавања перформанси и робусности система. Посебан део истраживања биће посвећен примени фракционих каскадних проширених опсервера стања (енг. Fractional Cascade Extended State Observer - FCESO), који интегришу фракциони ред система у пројектовање опсервера стања. Циљ примене фракционих каскадних проширених опсервера стања је квалитетнија естимација стања система у присуству шире класе поремећаја, што би омогућило боље перформансе управљања.

У оквиру дисертације, ефикасност примене CESO и FCESO структура биће анализирана у оквиру концепта управљања са активним потискивањем поремећаја (енг. Active Disturbance Rejection Control - ADRC). Основна идеја у концепту ADRC алгорита је обједињавање непознате и немоделоване динамике система и спољашњих поремећаја у један укупни или "тотални" поремећај, који се може ефикасно естимирати применом одговарајућег опсервера стања и потиснути у реалном времену, применом одговарајућег алгорита управљања у затвореној спреси.

Посебан сегмент истраживања у овој дисертацији биће анализа могућности имплементације предложених алгоритама са CESO и FCESO на FPGA платформе, како би се утврдила софтверска и хардверска ограничења у њиховој практичној реализацији. Симулациона и експериментална верификација биће спроведена кроз симулације са реалним хардвером у петљи управљања (енг. Hardware in the Loop - HIL) и модела оптоелектронског

система вођења хипотетичке ракете, код кога је потискивање шума мерења веома значајно са аспекта квалитета вођења.

1.3. Хипотезе и начин њихове провере

Општа хипотеза истраживања гласи:

- Пројектовање напредних алгоритама аутоматског управљања заснованих на примени каскадних и фракционих структура опсервера стања омогућиће боље перформансе и већу робусност система аутоматског управљања у условима постојања мерног шума.

Посебне хипотезе истраживања су:

- Повезивање проширених опсервера стања у виду каскадне структуре, уз одговарајуће подешавање пропусних опсега сваке каскаде, омогућава ефикасније филтрирање зашумљених сигнала и квалитетнију процену стања система, што ће утицати на побољшање перформанси система у затвореној петљи управљања;
- Пројектовање каскадних опсервера стања фракционог реда повећава флексибилност система аутоматског управљања, омогућавајући ефикаснију естимацију и потискивање ширег спектра поремећаја различите природе, у поређењу са системима аутоматског управљања на бази конвенционалних опсервера целобројног реда.

Полазећи од структуре ADRC са стандардним (једним) ESO, структура са CESO другог и трећег нивоа (са два и три каскадно повезана ESO-а, респективно) и са FCESO, биће изведене одговарајуће функције преноса са циљем компаративне анализе перформанси система (квалитета естимације стања, тачности рада, ефикасности у потискивању поремећаја и осетљивости на мерни шум) у фреквенцијском домену. Анализа ће бити спроведена за систем другог реда, а на основу показатеља квалитета из фреквенцијског домена, као што су слабљења система у одговарајућим фреквенцијским опсезима и маргине стабилности.

У циљу анализе могућности имплементације предложених алгоритама на хардверске FPGA платформе, на основу дискретних форми алгоритама биће извршена анализа утицаја вредности периоде одабирања на робусност система, у поређењу са њиховим континуалним еквивалентима. Кроз симулациону и експерименталну верификацију са реалним хардвером у петљи управљања и моделом оптоелектронског система вођења једне хипотетичке ракете, провериће се перформансе различитих управљачких структура имплементираних на FPGA платформу. Осим тога, на основу заузећа хардверских ресурса и потребног времена за извршавање алгоритама, анализираће се могућности имплементације управљачких алгоритама на изабрану платформу.

1.4. Методологија која ће бити примењена

Пројектовање и анализа система аутоматског управљања на бази CESO-а и FCESO-а биће реализовани у фреквенцијском и временском домену, у програмском пакету *MATLAB/Simulink*, где ће бити спроведена и детаљна упоредна анализа са системом управљања на бази стандардних структура опсервера. Дефинисањем кључних функција преноса система реализоваће се процене перформанси робусности система аутоматског управљања у затвореној спреси, као и степен утицаја шума мерења на перформансе система.

Експериментална верификација ефикасности предложених решења ће се реализовати применом НПЛ симулација на бази FPGA хардвера за имплементацију алгоритама управљања и модела оптоелектронског ласерског система вођења хипотетичке ракете, који ће бити развијен у програмском пакету *MATLAB/Simulink*.

1.5. Програм научног истраживања

Истраживање ће бити реализовано кроз четири фазе:

Током прве фазе, која обухвата прелиминарна истраживања, биће извршена свеобухватна анализа доступне литературе, како би се сагледали управљачки проблеми узроковани постојањем шума мерења у системима аутоматског управљања, као и постојеће методе за смањење утицаја шума мерења. На основу тога ће се дефинисати теоријска основа за примену напредних управљачких структура на бази каскадних и фракционих опсервера стања.

У склопу друге фазе биће реализовано пројектовање и детаљна анализа у фреквенцијском и временском домену алгоритама управљања са активним потискивањем поремећаја на бази CESO-а како би се процениле његове могућности филтрирања шума мерења и процене стања система и поремећаја.

У оквиру треће фазе истраживања биће реализовано пројектовање и детаљна анализа у фреквенцијском и временском домену алгоритама управљања са активним потискивањем поремећаја на бази FCESO-а како би се процениле његове могућности филтрирања шума мерења и процене стања система и поремећаја. Поред тога, реализоваће се упоредна анализа система на бази CESO-а, FCESO-а и конвенционалних опсервера целог реда.

Последња фаза истраживања биће посвећена валидацији пројектованих управљачких решења на моделу оптоелектронског ласерског система вођења хипотетичке ракете, применом НПЛ симулација са FPGA хардвером за имплементацију алгорита управљања.

1.6. Очекивани доприноси дисертације

Сходно дефинисаном предмету научног истраживања очекивани доприноси докторске дисертације су:

- Примена напредних алгоритама аутоматског управљања на бази CESO и FCESO структура, који омогућавају квалитетнију процену стања система и самим тим боље

перформансе система аутоматског управљања у присуству шума мерења, у поређењу са алгоритмима управљања са конвенционалним опсерверима.

- Детаљна анализа перформанси и робусности пројектованих система у фреквенцијском и временском домену и формулисање смерница за избор одговарајуће каскадне или фракционе структуре опсервера, са циљем побољшања перформанси и робусности целокупног система у условима изражених шума мерења.
- Развој платформе за НПЛ симулацију са FPGA хардвером за имплементацију и тестирање напредних алгоритама управљања, са моделом оптоелектронског система вођења хипотетичке ракете.

1.7. Литература

У идејном пројекту докторске дисертације наведено је 22 релевантна библиографска извора који ће се користити приликом истраживања. Наведени библиографски извори припадају областима које обухвата предмет истраживања, у складу су са методологијом која ће бити примењена и начинима провере резултата.

1.8. Закључак о подобности теме

На основу анализе идејног пројекта докторске дисертације, Комисија је закључила:

- изабрани проблем истраживања представља научни проблем;
- проблем је добро дефинисан и повезан са постојећим сазнањима из пројектовања напредних система аутоматског управљања за потискивање утицаја шума мерења;
- основна и посебне хипотезе су релевантне у односу на дефинисани проблем истраживања;
- одабране методе и програм истраживања омогућавају проверу хипотеза;
- наведена литература је релевантна за предмет истраживања;
- наслов теме одговара предмету истраживања и
- дисертација припада ужој научној области Ракетни системи.

2. ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ КАНДИДАТА

2.1. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Бенијахија Ахмед Таки-Едине је рођен 05.07.1991. у Мили, ДНР Алжир. Завршио је Националну припремну школу за инжењерске студије у Роуибау у Алжиру 2013. године, где је стекао диплому првог циклуса. Диплому државног мастер инжењера система управљања је стекао на Политехничкој војној школи, Бордј Ел Бахри у Алжиру 2016. године. Запослен је као официр у Министарству одбране ДНР Алжир. Говори и пише арапски, француски, енглески и српски језик и добро познаје програмске језике Visual Basic, Matlab, Python, W-language.

2.2. Објављени радови кандидата

- [1] Бенијахија Таки Еддине Ахмед, Миленко А., « *Побољшање контраста на војним термовизијским сликама помоћу фази логике* », Научна конференција ВојНа 2023, Београд, стр. 294-295. (M63)
- [2] Адли Тоуати Б., Амокране Салем-Билал Б., Павловић Бобан З., Лаидоуни Мохаммад Зоуаоуи М., Бенијахија Таки Еддине Ахмед, « *Систем откривања аномалија у мрежи на бази NetFlow протокола применом машинског/дубоког учења* », Војнотехнички гласник, ВОЈ. 71 БР. 4 (2023): Октобар-Децембар, стр. 941-969. (M51)
- [3] Лаидоуни Мохаммад Зоуаоуи М., Бенијахија Таки Еддине Ахмед, Павловић Бобан З., Амокране Салем-Билал Б., Адли Тоуати Б., « *Процена канала дубоког учења за 5Г бежичне комуникације* », Војнотехнички гласник, ВОЈ. 71 БР. 4 (2023): Октобар-Децембар, стр. 911-940. (M51)
- [4] Amokrane Salem-Bilal, Momir Stanković, Benijahija Taki Eddine Ahmed, « *Projektovanje upravljanja besposadnog vozila sa aktivnim potiskivanjem poremećaja na bazi dubokog učenja sa podrškom: studija slučaja praćenje lidera* », YUINFO 2024., Кораоник. (M63)
- [5] Benijahija Taki Eddine Ahmed, Momir Stanković, Amokrane Salem-Bilal, « *Adaptive Control of a 5-DOF Upper Limb Exoskeleton for Passive Rehabilitation: ADRC with Online Model Parameter Estimation* », ICIST 2024., Кораоник. (M33)
- [6] A. T.-E. Benijahija, M. Stanković, R. Madonski, O. Babajomi и S. M. Manojlović, « *Improving control performance by cascading observers: Case of ADRC with cascade ESO* » IEEE/CAA J. Autom., vol. 12, no. JAS-2024-1134, p. 1, 2024. (M21a)

2.3. Закључак о подобности кандидата

Кандидат је положио све испите на докторским студијама и успешно је реализовао садржаје студијског истраживачког рада. До сада је објавио један рад у водећем међународном часопису из области аутоматског управљања, два рада у домаћем часопису, један рад на међународној конференцији и два рада на домаћим научним конференцијама. Објављени радови кандидата су везани за област истраживања докторске дисертације.

Комисија сматра да је кандидат подобан за израду докторске дисертације.

3. ПРЕДЛОГ МЕНТОРА СА ОБРАЗЛОЖЕЊЕМ

Кандидат је предложио да се за менторе докторске дисертације именују пп ванр. проф. др Момир Станковић, дипл. инж., и пк ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл. инж., У пријави докторске дисертације се налази сагласност оба поменути наставника.

Потпуковник ванр. проф. Момир Станковић, дипл. инж је кандидату током докторских студија изводио наставу из предмета Пројектовање и реализација напредних алгоритама управљања мехатроничким системима и са њим је кандидат током докторских студија реализовао садржаје из студијског истраживачког рада. Такође, са наведеним

наставником је током докторских студија објавио један рад у водећем међународном часопису и два рада на научним скуповима. Потпуковник ванр. проф. др Момир Станковић, дипл. инж. је наставник Универзитета одбране у Београду, а у наставном процесу је ангажован на Војној академији на основним, мастер и докторским академским студијама. Његове области истраживања су пројектовање и реализација робусних система аутоматског управљања, управљање беспосадним возилима и беспосадним летелицама. До сада има 15 објављених радова у научним часописима међународног значаја категорије М20, 5 саопштења на међународним скуповима категорије М33, 5 радова у часописима националног значаја категорије М50 и 10 саопштења на скуповима националног значаја категорије М63. Наведени научни радови су до сада цитирани преко 300 пута у другим научним радовима. Био је ментор за израду једне докторске дисертације, два мастер рада, 5 дипломских и завршних радова на Војној академији. Тренутно је именован за ментора још једног кандидата на докторским академским студијама. Рецензирао је радове у научним часописима међународног значаја (*Mechatronics, IEEE Sensors, International Journal of Control, ISA Transactions, Transactions of the Institute of Measurement and Control, Control Engineering Practice*). Био је члан истраживачких тимова два пројекта реализованих на Војној академији и руководиоца једног пројекта реализованог на Војној академији под називом „Пројектовање и реализација алгоритама аутономног вођења беспосадних мобилних земаљских платформи“. Израдио је Практикум за лабораторијске вежбе за предмет Сензори и актуатори. Налази се на списку ментора докторских студија студијског програма Војноелектронско инжењерство Војне академије.

Пуковник ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл. инж је са кандидатом током докторских студија реализовао садржаје из студијског истраживачког рада. Такође, са наведеним наставником кандидат је током докторских студија објавио један рад у водећем међународном часопису. Пуковник ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл. инж. је наставник Универзитета одбране у Београду, а у наставном процесу је ангажован на Војној академији на основним, мастер и докторским академским студијама. Његове области истраживања су моделовање, анализа и пројектовање континуалних и дигиталних серво-система и система вођења и управљања ракетама и беспилотним летелицама. До сада има 8 објављених радова у научним часописима међународног значаја категорије М20, 3 саопштења на међународним скуповима категорије М33, 5 радова у часописима националног значаја категорије М50 и 7 саопштења на скуповима националног значаја категорије М63. Наведени научни радови су до сада цитирани преко 70 пута у другим научним радовима. Био је ментор за израду једне докторске дисертације, два мастер рада и 10 дипломских и завршних радова на Војној академији. Рецензирао је радове у научним часописима међународног значаја (*Control Engineering Practice*). Био је члан истраживачких тимова три пројекта реализованих на Војној академији. Аутор је помоћног уџбеника за предмет Основи ракетне технике под називом „Симулације система вођења и управљања ракета – Преглед теорије са примерима решених проблема“. Налази се на списку ментора докторских студија студијског програма Војноелектронско инжењерство Војне академије.

На основу свега наведеног Комисија сматра да су пп ванр. проф. др Момир Станковић, дипл. инж. и пк ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл. инж. подобни за менторе докторске дисертације.

4. УЖЕ НАУЧНЕ ОБЛАСТИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

КОМИСИЈА	УЖА НАУЧНА ОБЛАСТ
пк ванр. проф. др Димитрије Бујаковић, дипл. инж.	Сигнали и системи (изабран 11.07.2022. године на Војној академији Универзитета одбране у Београду)
пк ванр. проф. др Слободан Симић, дипл. инж.	Радарски системи (изабран 05.07.2024. године на Војној академији Универзитета одбране у Београду)
ред. проф. др Милан Рапаић, дипл. инж.	Аутоматика и управљање системима (изабран 07.10.2021. године на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду)
пк ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл. инж.	Ракетни системи (изабран 02.02.2022. године на Војној академији Универзитета одбране у Београду)
пп ванр. проф. др Момир Станковић, дипл. инж.	Ракетни системи (изабран 26.07.2024. године на Војној академији Универзитета одбране у Београду)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОЗИ КОМИСИЈЕ

На основу претходног Комисија констатује:

- кандидат Бенијахија Ахмед Таки-Едине, испуњава услове за израду докторске дисертације,
- предложена тема и замисао решавања постављеног научног проблема у потпуности одговарају нивоу докторске дисертације,
- предложена тема припада пољу техничко-технолошких наука, научној области Електротехничко и рачунарско инжењерство, ужа научна област Ракетни системи.

Комисија предлаже да се кандидату Бенијахија Ахмед Таки-Единеу, одобри израда докторске дисертације под називом:

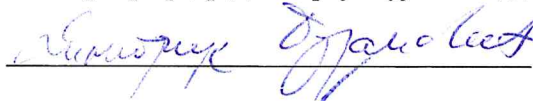
„Пројектовање и реализација напредних управљачких алгоритама за смањење утицаја шума мерења”

Комисија предлаже да се за менторе именују пп ванр. проф. др Момир Станковић, дипл. инж. и пк ванр. проф. др Стојадин Манојловић дипл. инж.

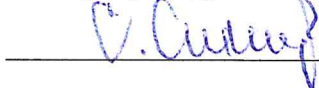
Београд, 13.01.2025. године.

КОМИСИЈА:

пк ванр. проф. др Димитрије Бујаковић, дипл. инж.



пк ванр. проф. др Слободан Симић, дипл. инж.



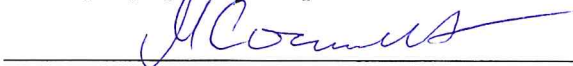
ред. проф. др Милан Рапајић, дипл. инж.



пк ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл. инж.



пп ванр. проф. др Момир Станковић, дипл. инж.





Достављено:

- Наставно-научном већу Војне академије
- Катедри ВЕИ (е/р),
- а/а.