

Чувати до краја 2026. године
 Функција 12, редни број 02
20. 05.2024. пк С. Манојловић
 (датум) (обрађивач)

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

Оцена научне заснованости теме
 докторске дисертације, **ИЗВЕШТАЈ.-**

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ВОЈНЕ АКАДЕМИЈЕ

Одлуком Наставно-научног већа Војне академије Број 62-104 од 30. априла 2024. године одређени смо у комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације студента ДАС ВЕИ Амокроне Салем-Билала, под радним називом:

„Пројектовање напредних робусних система управљања и вођења беспосадних возила”

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 напредних робусних система управљања и вођења беспосадних возила”**.

Савремене тенденције развоја система вођења и управљања мобилних беспосадних возила (гусеничних и са точковима) су усмерене на повећање њихове аутономије. То је посебно изражено у војној индустрији код борбених мобилних платформи, као и код платформи специјалне намене, које се примењују у критичним ситуацијама потенцијално опасним за људски живот. Сходно томе, код свих водећих произвођача оваквих система постоји тренд развоја техничких решења у виду беспосадних платформи са различитим степеном аутономије уз примену вештачке интелигенције. Беспосадна возила, у зависности од типа интегрисаних сензорских система и примењених алгоритама вођења и управљања, могу поседовати различите нивое аутономије, од почетног (нултог степена), који практично подразумева даљинско управљање од стране оператера, до највиших нивоа са потпуно аутоматизованим кретањем, доношењем одлука и извршавањем задатака. Међутим, потребно је нагласити да тренутно комерцијално доступне беспосадне платформе углавном поседују

неке од почетних нивоа аутономије (даљинско управљање, аутономно кретање до задате тачке), док је развој система виших нивоа аутономије још увек предмет научних истраживања. Поред тога, примењене технике управљања мобилних платформи се углавном свODE на алгоритме засноване на класичним методама и техникама управљања, који омогућавају задовољавајуће перформансе само у ограниченим радним условима, без великог утицаја унутрашњих поремећаја, као што су немоделована динамика објекта управљања и/или варијације параметара система, и спољашњих поремећаја у виду непознате динамике проклизавања погонских точкова или гусеница, дејства спољашњих сила на возило и утицаја мерних шумова сензора.

1.1. Научни проблем

Докторска дисертација обухватиће истраживање у области вођења и управљања беспосадним возилима у циљу повећања нивоа њихове аутономности. Са аспекта аутоматског управљања, беспосадна возила представљају веома захтевне објекте управљања, имајући у виду специфичности и ограничења у вези са начином управљања њиховим кретањем, као и тешко предвидиво динамичко понашање при кретању возила по различитим теренима, првенствено у виду проклизавања погонских точкова или гусеница и утицаја других спољашњих поремећаја.

Сходно наведеном, научни проблем ове дисертације представља синтезу алгорита вођења и управљања беспосадног возила који треба да обезбеди задовољавајуће перформансе у виду тачности позиционирања и брзине одзива система, али такође и одговарајући степен робусности на различите поремећаје и очекивани мерни шум, који зависи од типа примењених сензора. У почетној фази пројектовања потребно је извршити математичко моделовање кинематике кретања и динамике беспосадног возила и система аутономног вођења и управљања, а затим кроз анализу у временском и фреквенцијском домену дефинисати одговарајуће критеријуме перформанси по питању тачности позиционирања, брзине одзива, потискивања поремећаја и мерних шумова и др. Посебан проблем је оптимизација алгоритама, односно избор параметара алгоритама у циљу постизања оптималног решења у смислу компромиса између управљачких перформанси, робусности и енергетске ефикасности пројектованог система. Поред тога, да би се омогућили виши нивои аутономије кретања возила, истраживање ће обухватити и проблем обраде слике из оптоелектронских сензора, који се најчешће користе у беспосадним системима.

1.2. Предмет истраживања

Научно истраживање које ће бити спроведено у оквиру дисертације фокусираће се на допринос у развоју и практичној имплементацији напредних робусних система управљања беспосадних возила (БВ) који омогућавају прецизно кретање БВ у условима непознате и/или променљиве унутрашње динамике, као и дејства спољашњих поремећаја и утицаја мерног шума сензора возила. Као примарни сензори при пројектовању система вођења БВ користиће се оптоелектронски сензори, односно камере које су највише заступљене на комерцијалним БВ, тако да ће део истраживања бити посвећен развоју алгоритама обраде видео излаза камере применом алгоритама дубоког учења.

Пројектовање робусног алгоритма управљања биће засновано на примени управљања са активним потискивањем поремећаја (енг. Active Disturbance Rejection Control-ADRC), концепта који се показао као веома ефикасан у решавању различитих проблема аутоматског управљања. Основна идеја овог концепта је да се сви спољашњи поремећаји, немоделиована динамика система, нелинеарности и нестационарности параметара објекта управљања третирају као један (укупни) тотални поремећај, који је неопходно естимирати. На основу естимиране вредности, применом одговарајућег закона управљања, врши се активно потискивање тоталног поремећаја у реалном времену. За естимацију тоталног поремећаја предложена је примена проширеног обсервера стања (енг. Extended State Observer - ESO), док се потискивање тоталног поремећаја реализује применом одговарајућих линеарних или нелинеарних управљачких закона. Поред наведеног, у оквиру истраживања биће размотрене методе адаптивног (*online*) подешавања параметара система управљања применом алгоритама дубоког учења и учења са подршком.

Како би се омогућили виши нивои аутономије возила, као што је аутономно праћење лидера који се креће испред возила (енг. *leader-follower* задатак), посебна пажња биће посвећена примени алгоритма вештачке интелигенције у систему вођења БВ на бази обраде видео излаза камере возила. У склопу тога анализираће се комерцијално доступни алгоритми обраде слике на бази дубоког учења, као и њихове модификације, који ће омогућити мерење одступања кретања возила од путање лидера (човека), као и препознавање позе и визуелних команди лидера.

1.3. Хипотезе и начин њихове провере

Општа хипотеза истраживања гласи:

- Применом напредних робусних алгоритама управљања и вођења беспосадних возила на бази алгоритама дубоког учења и учења са подршком омогућава високе перформансе аутономног кретања возила у условима деловања унутрашњих и спољашњих поремећаја.

Посебне хипотезе истраживања су:

- У поређењу са стандардним индустријским техникама управљања, примена напредних робусних алгоритама управљања БВ на бази ADRC концепта са адаптивним подешавањем параметара ће омогућити боље перформансе аутономног кретања возила у условима дејства непознатих поремећаја.
- Реализација система вођења на бази примене алгоритама дубоког учења у обради видео излаза камере возила ће омогућити већи степен аутономије БВ и више нивое интеракције са оператером (човеком).
- Имплементација пројектованих система управљања и вођења на лабораторијско БВ возило пружиће основу за даљи развој оваквих система и имплементацију на постојећа војна и цивилна беспосадна возила.

Детаљна упоредна анализа перформанси пројектованог робусног ADRC система управљања и вођења на бази стандардних индустријских пропорционално-интегрално-диференцијалних (ПИД) регулатора биће реализована на развијеном математичком моделу кретања БВ, кроз

рачунарске симулације, у оквиру којих ће се анализирати више различитих сценарија типичних за начине употребе БВ у реалним ситуацијама. Анализираће се грешке одступања путање возила при праћењу задате путање, затим осетљивост на дејство спољашњих поремећаја, као и осетљивост на мерне шумове сензора.

Алгоритми на бази дубоког учења за обраду видео излаза камере уграђене на возило, у систему управљања и вођења БВ биће тестирани у лабораторијским и теренским условима. У оквиру тога, анализираће се ефикасност алгоритама у препознавању положаја и визуелних команди оператера (лидера), у складу са којима БВ извршава одговарајуће задатке (праћење лидера на дефинисаној раздаљини, заустављање, кретање ка лидеру, кретање од лидера, итд.).

Имплементација пројектованих ADRC система управљања и система вођења на бази видео излаза камере, извршиће се на реалном лабораторијском возилу. Експериментална верификација ће бити спроведена у теренским условима на различитим подлогама (тврдим, земљаним, песковитим), чиме ће се стећи увид у реалне перформансе система и могућности имплементације и примене на друга БВ.

1.4. Методологија која ће бити примењена

Математички модел БВ који ће бити коришћен при пројектовању и анализи биће развијен на бази лабораторијског гусеничног БВ. Пројектовање робусног ADRC система управљања ће се извршити у временском домену у програмском пакету *MATLAB/Simulink*, где ће бити спроведена и детаљна упоредна анализа са системом управљања на бази стандардних ПИ/ПИД регулатора.

Експериментална верификација ефикасности система управљања и вођења ће се реализовати на лабораторијском БВ опремљеним камером која ће се користити за процену грешке праћења и препознавање положаја лидера којег возило прати. Имплементација пројектованог система биће реализована на персоналном рачунару у оквиру програмског пакета *Python*, док ће се комуникација између БВ и рачунара остварити путем WiFi модула.

Експериментална анализа карактеристика пројектованог система управљања и вођења ће се спроводити у реалним условима на асфалтним, земљаним и травнатим теренима у условима постојања поремећаја у виду проклизавања погонских гусеница БВ.

1.5. Програм научног истраживања

Истраживање ће бити реализовано кроз четири фазе.

У оквиру прве фазе реализоваће се прелиминарно истраживање, односно идентификација проблема који постоје код тренутно доступних решења у домену управљања беспосадним возилима и израда симулационих модела аутономног кретања возила. Поред тога, у овом делу истраживања извршиће се и анализа доступне литературе из области аутономног вођења и управљања беспосадних возила и селекција литературе према правцима истраживања. Биће формиран одговарајући симулациони кинематички модели кретања беспосадних возила, и извршена анализа карактеристика различитих алгорита вођења и управљања у симулационом окружењу.

У другој фази истраживања бић извршено пројектовање напредних робусних система управљања и њихова симулациона верификација на моделу беспосадног возила. Кроз ову

фазу ће бити извршено пројектовање и симулациона анализа перформанси робусних алгоритама управљања на бази ADRC концепта. Поред тога, биће анализирана примена алгоритама дубоког учења и учења са подршком за адаптацију параметара алгоритама управљања.

Трећа фаза обухватиће пројектовање алгоритама за обраду видео излаза камере на бази дубоког учења, за реализацију задатака аутономног праћења оператера (лидера) који се креће у видном пољу камере возила (*leader-follower* задатак). До краја ове фазе биће припремљени сви услови за имплементацију пројектованих алгоритама управљања и вођења на лабораторијско гусенично беспосадно возило.

У последњој, четвртој фази истраживања биће спроведени експериментални тестови система у задацима праћења лидера, у лабораторијским и реалним условима. На основу резултата експерименталних тестирања биће спроведена анализа перформанси система у погледу тачности позиционирања, брзине одзива, потискивању поремећаја типа проклизавања и мерних шума. Циљ анализе добијених резултата је провера посебних и опште хипотезе.

1.6. Очекивани доприноси дисертације

Очекивани доприноси докторске дисертације су:

- развој математичког модела кретања БВ, на основу фундаменталних кинематичких и динамичких закона кретања возила;
- пројектовање робусних алгоритама управљања и вођења БВ, на бази напредних техника управљања са активним потискивањем поремећаја (енг. Active Disturbance Rejection Control-ADRC), са проширеним обсерверима стања, са циљем прецизног праћења дефинисане путање БВ у различитим окружењима;
- примена алгоритама дубоког учења и учења са подршком за адаптивно подешавање параметара алгоритама управљања, у зависности од типа и величине поремећаја који делују на БВ;
- развој симулационог модела кретања БВ за упоредну анализу перформанси предложених ADRC алгоритама управљања кретањем по дефинисаној путањи, са техникама управљања заснованим на ПИД регулаторима, у смислу величина грешака праћења задате путање, робусности система на поремећаје у виду проклизавања точкова/гусеница и мерних шума сензора;
- развој система вођења БВ применом камере интегрисане на лабораторијско гусенично возило са електричним погоном, на бази алгоритама обраде видео излаза камере применом дубоког учења, који, уз предложени робусни систем управљања, треба да омогући:
 - прецизно праћење задате путање,
 - аутономно праћење лица које се креће у видном пољу камере БВ (*leader-follower* задатак), са нивоом интеракције између човека и БВ у виду препознавања положаја, покрета и визуелних наредби човека, на основу којих БВ треба да извршава одговарајуће задатке.

- имплементација предложених решења на лабораторијско БВ и експериментално тестирање на различитим теренима (трава, земља, асфалт), у циљу потврде њихове ефикасности и анализе могућности њихове примене на реалним возилима.

1.7. Литература

У идејном пројекту докторске дисертације наведено је 25 релевантних библиографских извора који ће се користити приликом њене израде. Наведени библиографски извори покривају области које су наведене у предмету 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 области управљања и вођења беспосадних возила
- основна хипотеза је релевантна у односу на дефинисани проблем истраживања;
- одабране методе и програм истраживања омогућавају проверу хипотезе;
- 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 Салем-Билал Амокроне је рођен 25.01.1991. 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 мастер инжењера информатичког инжењерства је стекао на Политехничкој војној школи, Бордј Ел Бахри у Алжиру 2016. године. Запослен је ка 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] **Амокроне С.,** Миленко А., *Фузија визуелних и термалних слика у војним применама помоћу фази логике*, Научна конференција ВојНа 2023, Београд. (М63)
- [2] Адли Тоуати Б., **Амокроне Салем-Билал Б.,** Павловић Бобан З., Лаидоуни Мохаммад Зоуаоуи М., Бениахиа Таки Еддине Ахмед А., *Систем откривања аномалија у мрежи на бази NetFlow протокола применом комбинованих алгоритама*

машинског учења, Војнотехнички гласник, ВОЛ. 71 БР. 4 (2023): Октобар-Децембар, стр. 941-969. (M52)

- [3] Лаидоуни Мохаммад Зоуаоуи М., Бениахиа Таки Еддине Ахмед А., Павловић Бобан З., **Амокрane Салем-Билал Б.**, Адли Тоуати Б., *Процена канала дубоког учења за 5Г безжичне комуникације*, Војнотехнички гласник, ВОЛ. 71 БР. 4 (2023): Октобар-Децембар, стр. 911-940. (M52)
- [4] **Амокрane Салем-Билал**, Лаидоуни Мохаммад Зоуаоуи, Адли Тоуати, Рафал Мадонски и Момир Станковић, *Active disturbance rejection control for unmanned tracked vehicles in leader-follower scenarios: Discrete-time implementation and field test validation*, Mechatronics, 97 (2024), стр. 103-114. (M22)
- [5] **Амокрane Салем-Билал**, Момир Станковић, Бениахиа Таки Еддине Ахмед, *Projekтовanje upravljanja besposadnog vozila sa aktivnim potiskivanjem poremećaja na bazi dubokog učenja sa podrškom: studija slučaja praćenje lidera*, YUINFO 2024., Копаоник. (M63)
- [6] Бениахиа Таки Еддине Ахмед, Момир Станковић, **Амокрane Салем-Билал**, *Adaptive Control of a 5-DOF Upper Limb Exoskeleton for Passive Rehabilitation: ADRC with Online Model Parameter Estimation*, YUINFO 2024., Копаоник. (M63)

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 истакнутом међународном часопису, два рада у домаћем часопису и три 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 ментора докторске дисертације именује пп доцент др Момир Станковић, дипл. инж., и у пријави докторске дисертације се налази сагласност поменутог наставника.

Наведени наставник 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 истакнутом међународном часопису и два рада на скуповима националног значаја.

Потпуковник доцент 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 студијама. Његове области истраживања су пројектовање и реализација

робусних система аутоматског управљања, управљање беспосадним возилима и беспосадним летелицама. До сада има 13 објављених радова у научним часописима међународног значаја категорије M20, 5 саопштења на међународним скуповима категорије M33, 5 радова у часописима националног значаја категорије M50 и 10 саопштења на скуповима националног значаја категорије M63. 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. 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.

На основу свега претходно наведеног Комисија сматра да је пп доц. др Момир Станковић, дипл. инж. подобан за ментора докторске дисертације.

4. УЖЕ НАУЧНЕ ОБЛАСТИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

КОМИСИЈА	УЖА НАУЧНА ОБЛАСТ
пк ванр. проф. др Стојадин Манојловић, дипл. инж.	Ракетни системи (изабран 02.02.2022. 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 Слободан Симић, дипл. инж.	Радарски системи (изабран 04.07.2019. године на Војној академији Универзитета одбране у Београду)
пк ванр. проф. др Димитрије Бујаковић, дипл. инж.	Сигнали и системи (изабран 11.07.2022. године на Војној академији Универзитета одбране у Београду)
пп доц. др Момир Станковић, дипл. инж.	Ракетни системи (изабран 25.07.2019. године на Војној академији Универзитета одбране у Београду)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОЗИ КОМИСИЈЕ

На основу претходног Комисија констатује:

- кандидат Амокрane Салем-Билал, испуњава услове за израду докторске дисертације,
- предложена тема и замисао решавања постављеног 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 Амокрane Салем-Билалу, одобри израда докторске дисертације под називом:

„Пројектовање напредних робусних система управљања и вођења беспосадних возила”

Комисија предлаже да се за ментора именује пп доц. др Момир Станковић, дипл. инж.

Београд, 20.05.2024. године.

КОМИСИЈА:

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

С. Манојловић

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

М. Рапайић

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

С. Симић

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

Димитрије Бујаковић

пп доц. др Момир Станковић, дипл. инж.

М. Станковић

Достављено:

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