

Веће за техничко-технолошке и природно-математичке науке, је одлуком број 622-38 од 03.03.2026. године, именovalo Комисију за оцeну мастер рада Младена Антонића, под насловом „Побољшање тачности одређивања позиције беспосадног возила применом инерцијалних и одометарских сензора“. Након прегледа завршног рада, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

о завршном раду на мастер академским студијама

1. Биографски подаци кандидата

Младен Антонић је рођен 22.03.1979. године у Шапцу, где је завршио основну школу „Јанко Веселиновић“. Средњу техничку школу „Коста Абрашевић“, смер Електротехничар аутоматике у Шапцу, завршава 1998. године са одличним успехом. Војну академију - Одсек логистике, смер Техничке службе, специјалност Електронски системи, уписао је 1998. године. Дипломирао је 2003. године са просечном оценом 8,37. Дипломски рад „Фреквенцијски синтетизатор“ одбранио је у септембру 2003. године са оценом 10 (десет). Мастер академске студије на Војној академији у Београду, студијски програм Војноелектронско инжењерство, уписао је у априлу 2023. године. Положио је све испите са просечном оценом 9,75. Тренутно ради као сарадник у настави на Катедри војноелектронског инжењерства.

2. Опис завршног рада

Мастер рад кандидата садржи 64 стране текста, заједно са насловном страном, садржајем, списком слика, списком табела, списком литературе и прилозима. Рад садржи пет поглавља, а у списку литературе је наведено 13 референци.

Прво поглавље представља увод, у коме су дефинисани предмет и циљ истраживања, као и опис осталих поглавља рада.

У другом поглављу разматрани су навигациони системи беспосадних возила засновани на одометарским и инерцијалним сензорима. Описани су принципи одометријске и инерцијалне навигације, као и извори грешака одометарских и инерцијалних сензора са највећим утицајем, са посебним освртом на утицај проклизавања тачкова и неравнина терена. У наставку је представљен кинематички модел кретања беспосадног возила са диференцијалним управљањем. На основу кинематичког модела су пројектована три алгорита за процену позиције и оријентације возила: алгоритам заснован само на одометарским мерењима, алгоритам фузије одометарских и инерцијалних мерења за процене координата возила и његове оријентације, као и алгоритам фузије одометарских и инерцијалних мерења заснован на примени Калмановог филтра, који, поред координата возила и оријентације, врши процену и ефективне ширине трага тачкова возила. Овај параметар није могуће директно мерити, па се на основу његових естимираних вредности врше корекције у проценама позиције возила, што је нарочито важно при маневру возила, када долази до неизбежног проклизавања тачкова.

Треће поглавље обухвата симулациону анализу пројектованих алгоритама. На почетку је описано беспосадно лабораторијско возило, које је коришћено у раду, као и начин комуникације између возила и рачунарске станице, применом софтверског пакета Matlab. Представљен је формат пакета података који периодично стижу са возила, као и

начин формирања сигнала са сензора, неопходних за алгоритме процене. Симулациона анализа пројектованих алгоритама је извршена кроз три сценарија: за случај идеалних путања возила, путања са моделованим шумом сензора и путања са моделованом појавом проклизавања точкова. При томе су у свим сценаријима анализирана три случаја кретања возила: праволинијско кретање, окретање у месту и кретање по кружној путањи. Као параметри за оцену тачности коришћене су апсолутне и релативне грешке у естимацијама позиције и оријентације возила, на основу којих је анализиран утицај моделованих шума сензора и проклизавања точкова на ефикасност алгоритама. Резултати ове анализе су коришћени за подешавање параметара алгоритама и процену њихове робусности.

Поступак експерименталног тестирања пројектованих алгоритама естимације је представљен у четвртом поглављу. Описани су разматрани случајеви кретања возила у реалним условима, са лабораторијским беспосадним возилом. У овим тестовима коришћени су подаци са сензора возила: енкодера монтираних на сва четири точка и инерцијалне мерне јединице. При томе су за референтне параметре кретања возила усвојене стварна крајња позиција возила и оријентација возила у тренутку заустављања. Апсолутне и релативне грешке у проценама позиције и оријентације возила за поједине алгоритме су прорачунате у односу на референтне параметре. На крају је дат упоредни приказ експерименталних резултата за све случајеве кретања.

На крају рада, дати су закључци на основу добијених резултата, као и предлози за даље унапређење у овој области истраживања.

3. Анализа рада са кључним резултатима

Предмет мастер рада Младена Антонића, дипл. инж. је пројектовање алгоритама фузије сигнала са одометарских и инерцијалних сензора у циљу побољшања тачности одређивања позиције беспосадног возила. Изведен је кинематички модел кретања беспосадног возила точкаша, са погоном на сва четири точка, као основа за пројектовање алгоритама. Формулисани су одговарајући модели шума сензора и појаве проклизавања точкова, као поремећаја од великог утицаја на тачност у естимацији позиције возила. Сви алгоритми су базирани на сигнаlima са сензора који обезбеђују информације о релативној позицији возила, што је веома значајно за примене возила у затвореним просторима, или у условима намерног или ненамерног ометања, када је примена спољашњих извора информација, као што је GPS (енг. *Global Positioning System*) немогућа или отежана.

На основу типичних случајева кретања беспосадног возила у равни, без и са маневром, у симулационој анализи је показана неопходност примене алгоритама фузије сигнала са одометара и инерцијалне мерне јединице, како би се побољшала тачност у естимацији позиције возила. Проценом ефективне ширине трага точкова, применом UKF (енг. *Unscented Kalman Filter*) могуће је додатно унапредити квалитет естимација, нарочито при маневрисању возила, када долази до неизбежног клизања возила.

У експерименталним тестирањима је практично реализована аквизиција података са лабораторијског беспосадног возила и имплементација алгоритама процене у програмском пакету Matlab. Применом сложенијих алгоритама фузије података постижу се извесна побољшања по питању тачности естимација, али на рачун повећања рачунске сложености алгорита.

Мастер рад представља значајан корак у правцу развоја алгоритама за естимацију релативне позиције беспосадног возила у условима када информације о апсолутној позицији нису доступне. Посебан допринос рада огледа се у експерименталном тестирању лабораторијске платформе Jaguar 4x4 wheel у затвореном простору.

Кандидату Младену Антонићу, дипл. инж. је из оквира мастер рада прихваћен проширени апстракт на домаћој конференцији YU INFO 2026 под насловом „Detekcija proklizavanja točkova besposadnog vozila na osnovu odometarskih i inercijalnih senzora“ која се одржава на Копаонику од 08. до 11. марта 2026. године.

4. Закључак и предлог

Кандидат Младен Антонић, дипл. инж. је у свом раду представио теоретска разматрања, симулациону анализу и експериментална тестирања алгоритама за естимацију позиције беспосадног возила на основу фузије података применом сензора уграђених на возило. Анализирани алгоритми су веома значајни са аспекта примене ових платформи у реалним условима, са присуством мерног шума сензора и појавом проклизавања точкова возила при различитим врстама маневара. Резултати и закључци овог рада су важан корак у разматрању примене алгоритама фузије података са више сензора у побољшању естимације позиције беспосадних возила.

У току израде мастер рада кандидат је показао самосталност и систематичност у решавању разматране проблематике.

На основу наведеног, Комисија предлаже Већу за техничко-технолошке и природно-математичке науке, да прихвати рад Младена Антонића, дипл. инж. под називом „Побољшање тачности одређивања позиције беспосадног возила применом инерцијалних и одометарских сензора“, као завршни рад и одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 03. март 2026. године



Чланови комисије

Председник комисије
потпуковник, ванр. проф.

др Момир Станковић, дипл. инж.

Члан комисије
пуковник, ванр. проф.

др Димитрије Бујаковић, дипл. инж.

Ментор

пуковник, ванр. проф.

др Стојадин Манојловић, дипл. инж.

Достављено:

- Катедри војноелектронског инжењерства (е/р),
- пуковнику ванр. проф. др Стојадину Манојловићу (преко Катедре ВЕИ, е/р),
- студенту МАС СП ВЕИ Младену Антонићу (преко Катедре ВЕИ, е/р) и
- Архиви.