

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 01.09.2026 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Лука Кандић под насловом „Планирање и координација више робота у пољопривредном окружењу: анализа утицаја топологије радног простора“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Лука Кандић рођен је 2. јула 2002. године у Шапцу. Основне академске студије завршио је 2025. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Електротехника и рачунарство, модул Сигнали и системи, са просечном оценом 9,13. Током студија био је стипендиста Министарства просвете за изузетно надарене студенте. Дипломски рад под називом „Имплементација система машинске визије за детекцију и локализацију објеката у радном простору робота“ одбранио је у октобру 2025. године са оценом 10, под менторством проф. др Косте Јовановића. Исте године уписао је мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Сигнали и системи.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Лука Кандић је, као припрему за израду мастер рада, спровео истраживање релевантне литературе из области роботике и аутономних система, са посебним освртом на планирање и координацију система са више робота. Анализирани су приступи симболичком и пробабилистичком планирању засновани на PDDL и RDDL формализмима, интеграција RDDL планера са ROS окружењем, интегрисано планирање задатака и кретања (TAMP), додела задатака и налажење путева за више агената (MAPF), као и савремена решења из области пољопривредне роботике.

У оквиру студијског истраживачког рада кандидат је моделовао радни простор воћњака графом, интегрисао PROST планер над RDDL моделом са симулационим окружењем ROS/Gazebo и оквиром MoveIt, реализовао кретање мобилне базе и бербу плодова и развио механизме за координацију два робота у дељеном простору. Дефинисана је и експериментална методологија која обухвата контролисану промену брзина робота, поделе радних зона и топологије графа, уз праћење времена завршетка, пређеног пута, продуктивности и безбедносних показатеља. На основу ових истраживања формулисан је циљ рада: квантитативна анализа утицаја организације и топологије радног простора на ефикасност и координацију више мобилних манипулатора.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 52 нумерисане стране, рачунајући од увода до краја прилога, од чега прилог А обухвата 2 стране. Рад садржи 13 слика, 20 табела и 46 референци. Организован је у седам нумерисаних поглавља, након којих следе списак литературе, списак скраћеница, списак слика, списак табела и прилог са програмским кодом и конфигурацијама.

Прво поглавље представља увод у коме су изложени мотивација, проблем и циљ рада, истраживачка питања и хипотезе, основни доприноси и организација рада.

У другом поглављу дат је преглед релевантне литературе који обухвата планирање акција у роботизи, интеграцију RDDL-а и ROS-а, интегрисано планирање задатака и кретања, координацију више робота, утицај топологије радног простора и роботску бербу.

Треће поглавље излаже теоријске основе система: RDDL језик за моделовање, графовско представљање радног простора, PROST планер, ROS/Gazebo/MoveIt извршно окружење и механизме координације и избегавања конфликта више робота.

Четврто поглавље описује симулационо окружење, геометрију воћњака, модел мобилног манипулатора, повезивање симболичког и физичког нивоа и поступак брања. Приказани су развој система са једним и два робота, топологије радног простора, експериментални сценарији, метрике и поступци валидације.

У петом поглављу представљени су резултати валидације и поделе посла између робота. Анализирани су успешност мисија, пређени пут, време завршетка, продуктивност, цена планирања, координациони догађаји

и безбедност у различитим топологијама.

У шестом поглављу резултати су размотрени у односу на истраживачка питања. Анализирани су недостаци поделе рада засноване на брзини, утицај повезаности графа, однос симболичке и физичке безбедности и ограничења резултата.

Седмо поглавље сумира доприносе и предлаже будући развој: боље разрешење застоја и доделу мета, динамичке приоритете, дистрибуирану координацију, моделирање неизвесности и пренос система на физичку платформу.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад кандидата Луке Кандића бави се развојем и анализом система за планирање и координацију једног и два мобилна манипулатора у редно структурисаном пољопривредном окружењу. Развијена је слојевита архитектура у којој PROST планер над RDDDL моделом одређује циљеве, док се кретање и манипулација реализују у окружењу ROS/Gazebo/MoveIt. За два робота уведени су механизми координације засновани на размени одометрије, резервацији дељених сегмената и разрешењу застоја.

Једнороботски систем валидиран је у 40 мисија, при чему су све мете успешно обрађене без безбедносног заустављања. Експерименти су показали да додела већег броја мета бржем роботу не скраћује нужно мисију, јер манипулација по мети значајно утиче на њено трајање.

Главни експеримент обухватио је 75 мисија са два робота, пет топологија, пет расподела мета и три понављања. Успешно је завршено 50 мисија. Са порастом повезаности простора успешност је повећана са 13% у линијској на 93% у пуној топологији, пређени пут смањен је са око 478 m на 297 m, а број застоја са 437 на 21. У 23 од 25 неуспешних мисија узрок је био застој у уском грлу, што потврђује пресудан утицај топологије на ефикасност и успешност мисије.

Посебан допринос представља генеричко графовско моделовање радног простора, које омогућава увођење различитих топологија изменом RDDDL инстанце, без промене планског домена, и њихово контролисано поређење у истој архитектури.

Основни доприноси рада су: 1) интеграција PROST/RDDL планирања са извршним слојем заснованим на ROS-у, Gazebo-у и MoveIt-у; 2) графовски модел са пет контролисаних топологија и провереним пречицама; 3) механизми координације два мобилна манипулатора; 4) квантитативна анализа утицаја топологије на успешност, пређени пут, трајање и застоје.

5. Закључак и предлог

Кандидат Лука Кандић је у свом мастер раду успешно развио и експериментално испитао интегрисани систем за планирање и координацију једног и два мобилна манипулатора у симулираном пољопривредном окружењу. Комисија оцењује да рад представља целовиту анализу развијеног система, у којој су резултати експериментално потврђени и систематски анализирани. Посебну вредност рада представља испитивање утицаја топологије радног простора на ефикасност, успешност и појаву застоја у мисијама са два робота. Кандидат је током израде рада показао самосталност, систематичност и способност да повеже формалне методе планирања са практичном реализацијом кретања, манипулације и координације робота. Добијени резултати представљају добру основу за даљи развој система и његову валидацију на физичкој платформи. На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да мастер рад кандидата Луке Кандића под насловом „Планирање и координација више робота у пољопривредном окружењу: анализа утицаја топологије радног простора” прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 11.09.2026. године

Чланови комисије:

др Коста Јовановић Ванредни професор
сагласан, 11.09.2026.

др Никола Кнежевић Доцент
сагласан, 11.09.2026.