

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 17.06.2026 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Лука Вученовић под насловом „Процена позиције динамичког објекта применом техника сензорске фузије“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Лука Вученовић је рођен 15.02.2000. године у Београду. Завршио је основну школу „Ћирило и Методије“ у Београду, а затим је уписао и завршио Шесту београдску гимназију. Након тога, 2019. године уписао је Електротехнички факултет у Београду. Дипломирао је на одсеку за Физичку електронику 2024. године, са просечном оценом 7,87. Мастер академске студије уписао је 2024. године, на одсеку за Рачунарску технику и информатику.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Лука Вученовић је као припрему за израду мастер рада спровео истраживање релевантне литературе и постојећих решења у области локализације аутономних мобилних робота. Проучени су типови сензора који се користе на мобилним роботима, њихова класификација према извору сигнала, домену и типу мерења, као и принципи рада и типични извори грешака код енкодера, инерцијалних мерних јединица, ласерских скенера, радара, сонара и камера. Посебна пажња посвећена је ограничењима појединачних сензора: акумулацији грешке одометрије услед проклизавања тачкова и неравнина подлоге, као и дрифту инерцијалних сензора који настаје интеграцијом шума мерења и спорих промена биас-а.

Кроз анализу референтне литературе обрађен је општи оквир естимације стања, разлика између естимације параметра и естимације стања, оптимални Бајесов естиматор и разлози због којих његова директна нумеричка имплементација није практично изводљива. Проучене су две породице апроксимативних решења: проширени Калманов филтар, који условну расподелу апроксимира Гаусовом и локално линеаризује нелинеарни модел, и честични филтар, који исту рекурзију решава методом Монте Карло. Као резултат студијског истраживачког рада дефинисана је методологија експерименталног поређења, која обухвата избор симулационог окружења, моделе шума сензора, две структуре вектора стања проширеног Калмановог филтра и мере квалитета процене у односу на референтну трајекторију.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 38 страна, са укупно 18 слика, 4 табеле и 10 референци. Рад садржи увод, 5 поглавља и закључак (укупно 7 поглавља), као и списак коришћене литературе, списак скраћеница, списак слика и списак табела. Рад је написан на српском језику.

Прво поглавље је увод у коме су описани предмет и циљ рада. Изложена је мотивација за примену сензорске фузије

У другом поглављу дат је преглед сензора за мобилне роботе. Изложена је класификација сензора и њихове најважније спецификације, а затим су описани енкодери, инерцијалне мерне јединице, ласерски скенери, сензори близине и контакта, глобални позициони системи, радар, сонар и ултразвучни сензори, као и дигиталне камере и RGB-D сензори.

Треће поглавље описује методологију рада. Представљено је експериментално окружење засновано на симулатору NVIDIA Isaac Sim и снимљена трајекторија дужине приближно 149,6 m.

У четвртном поглављу изложене су технике естимације. Дат је општи оквир естимације стања и оптимални Бајесов естиматор, објашњени су нивои и врсте сензорске фузије, а затим је изведен проширени Калманов филтар и његова примена на кинематски модел робота са диференцијалним погоном.

У петом поглављу приказани су измерени резултати за оба модела и оба сценарија шума: поређење трајекторија, грешка позиције и оријентације током времена, као и резултати апсолутне локализације на мапи окружења применом алгорита адаптивне Монте Карло локализације.

Шесто поглавље садржи дискусију добијених резултата, поређење са сличним истраживањима и разматрање ограничења спроведеног експеримента.

Седмо поглавље је закључак у коме је дат преглед урађеног и предложени су могући правци за даље

унапређење и наставак истраживања.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Луке Вученовића бави се актуелном проблематиком процене позиције и оријентације мобилног робота у реалном времену.

У оквиру рада, кандидат је пројектовао и имплементирао алгоритам за фузију података енкодера тачкова и инерцијалне мерне јединице применом проширеног Калмановог филтра, при чему су процене поређене са референтном незашумљеном трајекторијом.

Мастер рад кандидата садржи више значајних резултата и доприноса, међу којима се издвајају следећи:

- Пројектовање и имплементација два модела проширеног Калмановог филтра, са три и са пет стања, уз извођење модела кретања, Јакобијана и корака корекције за кинематски модел робота са диференцијалним погоном.
- Постављање поновљивог мерног оквира са реалистично моделованим шумом сензора, у два сценарија различитог односа поузданости одометрије и инерцијалне мерне јединице.
- Показивање да периодична корекција оријентације мерењем са инерцијалне мерне јединице смањује грешку оријентације са 0,88 rad на испод 0,03 rad, а грешку позиције на крају снимка са 19,0 m на 1,31 m, што представља умањење од преко 90%.
- Експериментална провера доприноса проширеног Калмановог филтра као улаза у алгоритам адаптивне Монте Карло локализације, при чему је средња грешка позиције смањена са 17,82 m на 15,75 m, а максимална са 34,94 m на 28,56 m.
- Идентификовање геометријске поновљивости мапе као узрока ограничених перформанси адаптивне Монте Карло локализације, потврђено контролним експериментом са повећаним бројем честица, чиме је искључено објашњење засновано на недовољној величини скупа честица.

Резултати рада показују да фузија релативних сензора значајно побољшава краткорочну тачност и спречава дугорочни раст грешке карактеристичан за интеграцију без корекције, али да не решава проблем апсолутне локализације, за коју је неопходан екстероцептивни сензор и мапа окружења довољно богата геометријским обележјима.

5. Закључак и предлог

Кандидат Лука Вученовић је у свом мастер раду успешно решио проблем фузије података енкодера и инерцијалне мерне јединице применом проширеног Калмановог филтра и спровео опсежну експерименталну проверу развијених модела, повезујући преглед постојећих решења и сопствена мерења у јединствену целину. Добијени резултати и постављени мерни поступак дају допринос области локализације аутономних мобилних робота.

Кандидат је током израде рада показао висок ниво самосталности и систематичности, као и способност примене теоријских концепата у практичној имплементацији и критичког тумачења добијених резултата, што се посебно види у поштену тумачењу ограничења примењеног алгорита апсолутне локализације. Рад одликује јасна структура, прецизност и систематичност у излагању.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да рад дипл. инж. Луке Вученовића под насловом „Процена позиције динамичког објекта применом сензорске фузије” прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 04.09.2026. године

Чланови комисије:

др Жељко Ђуровић Редовни професор
сагласан, 04.09.2026.

др Горан Квашчев Редовни професор
сагласан, 04.09.2026.

др Бошко Николић Редовни професор
сагласан, 04.09.2026.