

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

| | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------|
| Презиме, име једног родитеља и име | Петровић Павле Емина | МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ Примљено: 13.02.2017. | |
| Датум и место рођења | 15.05.1985, Лесковац, Србија | | |
| Основне студије | | | |
| Универзитет | Универзитет у Нишу | Орг.јед. | Број |
| Факултет | Машински факултет | | Прилог |
| Студијски програм | Мехатроника и управљање системима | | Вредности |
| Звање | Дипломирани машински инжењер | 612-80-42/2017 | |
| Година уписа | 2004 | | |
| Година завршетка | 2009 | | |
| Просечна оцена | 9,62 | | |

Мастер студије, магистарске студије

| | |
|----------------------|---|
| Универзитет | Универзитет у Нишу |
| Факултет | Машински факултет |
| Студијски програм | Мехатроника и управљање системима |
| Звање | Дипломирани машински инжењер |
| Година уписа | 2004 |
| Година завршетка | 2009 |
| Просечна оцена | 9,62 |
| Научна област | Управљање системима |
| Наслов завршног рада | Програмибилни логички контролери и примена у управљању савременим паркингом |

Докторске студије

| | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Универзитет | Универзитет у Нишу |
| Факултет | Машински факултет |
| Студијски програм | Мехатроника и управљање системима |
| Година уписа | 2009 |
| Остварен број ЕСПБ бодова | 150 |
| Просечна оцена | 10.00 |

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

| | |
|---|--|
| Наслов теме докторске дисертације | Развој хијерархијске структуре управљања мобилним роботом за праћење људи на бази робусне стерео роботске визије |
| Име и презиме ментора, звање | др Властимир Николић, редовни професор |
| Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације | 8/20-01-009/13-015, 18.12.2013.године |

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

| | |
|----------------------------|-----|
| Број страна | 160 |
| Број поглавља | 8 |
| Број слика (шема, графика) | 96 |
| Број табела | 6 |
| Број прилога | 2 |

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

| Р. бр. | Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице | Категорија |
|--------|--|------------|
| 1 | <p>Emina Petrović, Adrian Leu, Danijela Ristić-Durrant, Vlastimir Nikolić, Stereo-Vision Based Human Tracking for Robotic Follower, International Journal of Advanced Robotic Systems, 2013, Vol. 10, DOI: 10.5772/56124, ISSN 1729-8806.</p> <p><i>У раду је разматран проблем праћења човека у реалном времену. Нови приступ комбинује стерео визију за детекцију човека и модификован Калманов филтер за 3D естимацију положаја човека. Модификован Калманов филтер рекурзивно предвиђа и ажурира позицију у региону од интереса, чиме доприноси економичности праћења. Перформансе представљеног модела су тестиране у оквиру радног сценарија где мобилни робот прати човека у затвореном и отвореном простору.</i></p> | M23 |
| 2 | <p>Predrag Rajković, Emina Petrović, Vlastimir Nikolić, Computation of the shortest distance between two parametric defined object by Particle swarm optimization, Facta Universitatis Series: Automatic Control and Robotics, 2015, Vol. 14, No. 2.</p> <p><i>У раду је разматран проблем израчунавања најкраћег растојања између два конвексна објекта применом оптимизације ројевима честица (PSO). Израчување најкраћег растојања између два објекта представља суштинску компоненту код планирања кретања и управљања роботом како би се избегла колизација са препрекама које се налазе у околини робота.</i></p> | M24 |
| 3 | <p>Emina Petrović, Žarko Čojbašić, Danijela Ristić-Durrant, Vlastimir Nikolić, Ivan Ćirić, Srđan Matić, Kalman filter and NARX neural network for robot vision based human tracking, Facta Universitatis Series: Automatic Control and Robotics, 2013, Vol. 12, No 1, pp. 43 – 51.</p> <p><i>У раду је вршено поређење NARX неуронске мреже и Калмановог филтера у циљу решавања проблема праћења човека мобилним роботом, где је предвиђено да мобилни робот са системом стерео визије ради заједно са човеком као његов сарадник. После добијања података системом стерео визије, симулациони резултати праћења Калмановим филтером су поређени са симулационим резултатима добијеним применом NARX неуронске мреже.</i></p> | M52 |
| 4 | <p>Emina Petrović, Danijela Ristić-Durrant, Vlastimir Nikolić, Adrian Leu, A novel approach to human tracking for Robotic Follower, SAUM 2012, 2012, 987-86-6125-072-9, pp.128-131.</p> <p><i>У овом раду је разматран нови приступ за праћење човека заснован на модификованом Калмановом филтеру. Предложени метод треба да обезбеди поуздане улазе у управљачки систем мобилног робота који прати човека и понаша се као његов сарадник. Као сензор визије коришћена је стерео камера.</i></p> | M33 |
| 5 | <p>Emina Petrović, Miša Tomić, Vlastimir Nikolić, Žarko Čojbašić, Vukašin Pavlović, Ivan Ćirić, Human Tracking with a person following robot based on Extended Kalman filter, Mechanical Engineering In The 21st Century, 2013, ISBN 978-86-6055-039-4, Niš, Serbia, pp. 283-286.</p> <p><i>У овом раду је описан систем за детекцију и праћење човека мобилним роботом који користи сензор са стуктурираном светлосћу Asus XtionPRO LIVE као сензор роботске визије. За естимацију положаја човека у реалном времену коришћен је проширени Калманов филтер, који константно естимира позицију човека у роботском координатном систему, а добијене информације о положају човека се затим користе за управљање мобилним роботом. Управљање позицијом робота је вршено помоћу два PID контролера.</i></p> | M33 |
| 6 | <p>Emina Petrović, Vukašin Pavlović, Miloš Simonović, Vlastimir Nikolić, Fuzzy Logic Control of Differential Drive Mobile Robot for Moving Target Tracking, XIII International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, Niš, Serbia, November 09th-11th, 2016.</p> <p><i>У овом раду, представљена је хијерархијска структура управљања мобилним роботом за праћење човека, која се састоји од вишег и нижег нивоа управљања. Нижи ниво управљања се састоји од мултиваријабилног PD контролера, чији су параметри добијени PSO оптимизацијом. PD контролер је потребан да би се осигурало праћење улазне референтне брзине од стране мобилног робота. За управљање позицијом и</i></p> | M33 |

| | | |
|---|---|-----|
| | <i>оријентацијом мобилног робота коришћена су два Matdani фази контролера, која се налазе на вишем хијерархијском нивоу управљања. Тестирање ефикасности предложене управљачке шеме је вршено у симулационом окружењу, где робот прати човека који се креће по кружној и правоугаоној путањи.</i> | |
| | Ivan Ćirić, Žarko Ćojbašić, Vlastimir Nikolić, Milica Ćirić, Predrag Živković, Ivan Pavlović, Emina Petrović, Intelligent control of mobile robot for object recognition and grasping , DEMI 2015, 2015, ISBN 978-99938-39-53-8, pp.583-588. | |
| 7 | <i>У овом раду разматран је систем роботске визије за препознавање објеката и управљање у циљу манипулације датим објектима. Развијен је напредни класификатор који омогућава 3D реконструкцију објеката са тачном позицијом и оријентацијом крутог тела, чиме се помаже у одлучивању где да роботска рука ухвати предмет. Класификација се врши помоћу карактеристика добијених из сегментираних слике после предпроцесирања, сегментације и постпроцесирања. Таква слика у комбинацију са резултатима класификације омогућава адекватну 3D реконструкцију објеката што је од кључног значаја за проблем хватања објеката роботском руком.</i> | M33 |
| 8 | Ćirić Ivan, Žarko Ćojbašić, Vlastimir Nikolić, Milica Ćirić, Mladen Tomić, Emina Petrović, Miloš Simonović, Neural Network Prediction of Person Position for Human Following Mobile Robot Platform , 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2015, 2015, Banjaluka, BiH <i>Мобилна роботска платформа која прати људе, задатке праћења може да оствари много успешније уколико у сваком тренутку предвиђа наредну позицију човека. На овај начин се заправо смањује област претраге слике наредног фрејма у коме ће се наћи човек, што значајно убрзава извршење самог алгоритма препознавања и праћења људи стерео камером. Како се проблем своди на предвиђање временских серија, у овом раду је предложено решење засновано на имплементацији неуронске мреже за ово предвиђање.</i> | M33 |

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА **НЕ**

Образложење

Кандидат је дипломирани машински инжењер, има одобрену тему докторске дисертације, објавила је већи број научних и стручних радова и поднела докторску дисертацију одговарајуће садржине, обима и квалитета, у складу са одобреном темом докторске дисертације.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације

Разматрана теза састоји се из 8 поглавља. Претходе им резиме на српском и енглеском језику, садржај и листе табела и слика. На крају се налази списак 136 референци, 2 додатка и биографија аутора.

У уводном делу дате су уводне напомене о предмету истраживања и дат је кратак приказ истраживања спроведених у оквиру дисертације.

У оквиру другог поглавља дат је детаљан опис система за детекцију човека заснованог на стерео визији и објашњени су индивидуални модули система за детекцију, као што су аквизиција слика стерео камером, израчунавање мапе диспаратитета, сегментација мапе диспаратитета и класификација објеката на основу одређених карактеристика.

У оквиру трећег поглавља, у циљу развоја симулационог окружења, моделиран је мобилни робот са диференцијалним погоном. Такође, сваки део моделирања разматраног роботског система је засебно објашњен. За динамичко моделирање робота с диференцијалним погоном, коришћен је Лангражеов метод и Њутн-Ојлеров приступ. Развијени симулациони модел је затим коришћен за симулацију кретања мобилног робота и тестирање предложене хијерархијске структуре управљања.

У четвртог поглављу дат је опис хијерархијаске структуре управљања. У хијерархијској структури управљања развијеној у овој тези модули за детекцију, праћење и предикцију позиције човека као и за препознавање понашања човека као и модул одлучивања су на високом нивоу структуре управљања, док се управљање позицијом и оријентацијом мобилног робота сврстава у средњи ниво управљања. Управљачки систем ниског нивоа састоји се од мултиваријабилног PD контролера који је одговоран за конвертовање брзина на излазу позиционог контролера у обртни момент тачкова робота. Овај контролер

је потребан да би се осигурало праћење улазне референтне брзине од стране робота. Такође, помоћу оптимизације ројевима честица (енг. Particle swarm optimization (PSO)) алгоритма извршена је оптимизација параметара PD контролера. У овом поглављу описани су развој као и детаљна анализа управљачких алгоритама средњег и ниског нивоа управљања, као и симулациони резултати тестирања ових управљачких алгоритама. Да би се лакше тестирале перформансе предложене управљачке шеме, контролер је тестиран за случај када је циљ управљања да је растојање између робота и човека једнако нули. Такође је симулирано и кретање робота када је циљ управљања да је растојање између робота и човека једнако 1.5m. Управљачки ниво високог нивоа је због своје комплексности обрађен у наредним поглављима.

У петом поглављу, дат је детаљан опис Бајесових филтера, као што су Калманов и Партикле филтери за праћење човека на основу информација добијених сензором роботске визије. Будући да услед поремећаја којима је изложен систем роботске визије као што су промена осветљења, промена угла снимања и присуство много различитих објеката у сцени, визија често не даје поуздане податке о позицији човека или долази до потпуног изостанка тих података. У циљу превазилажења овог проблема, у овој тези су интегрисани естиматори који врше естимацију положаја човека када нам визија не даје податке или су ти подаци неупотребљиви због поремећаја у систему.

У шестом поглављу су дати експериментални резултати праћења човека на основу информација добијених роботском визијом. Развијени алгоритми за естимацију положаја човека којег треба пратити мобилним роботом, тестирани су на Институту за Аутоматику (IAT) Универзитета у Бремену, Немачка, применом система стерео визије за детекцију човека који користи Point Grey Bumblebee XB3 стерео камеру и на Машинском факултету Универзитета у Нишу, применом система визије који користи OpenNI библиотеку и ASUS Xtion 3D сензор. Прва коришћена мобилна роботска платформа има интегрисан систем стерео визије за праћење човека који је тестиран у оквиру радног сценарија мобилног робота са намером да прати људског сарадника у затвореном простору, као и на отвореном простору. Експерименти су извођени тако да човек хода испред мобилног робота на коме је постављена камера. У експериментима описаним у овом поглављу, робот је био статичан тако да је само посматрао особу без да је прати. Такође, извршена је упоредна анализа естиматора тако што је мерена грешка естимације, при чему се човек кретао по правој линији дужине 2m. Упоредна анализа је спроведена на основу следећих критеријума: средње квадратне грешке (енг. Mean square error (MSE)), корена средње квадратне грешке (енг. Root mean square error (RMSE)) и стандардне девијације. Пре извођења експеримента, где робот прати особу у реалном времену, у оквиру овог поглавља систем је тестиран симулирањем роботског система са модулом праћења занованим на Калмановом филтеру, где робот прати човека.

У седмом поглављу развијен је класификатор за препознавање понашања човека и модул за одлучивање који се налазе на високом хијерархијском нивоу управљања. Такође дат је опис коришћене реалне мобилне платформе и имплементације предложене управљачке структуре. Класификатор заснован на неуронској мрежи за препознавање образаца са простирањем сигнала унапред. Као улаз класификатора предложене су грешка растојање човека од камере d (робот треба да прати човека на растојању од 1.5m) и угао оријентације ϕ . Излаз из класификатора је вероватноћа да кретање (понашање) човека које испитујемо припада једној од три класа које су представљене као “удаљава се од робота”, “стоји у односу на робот” и “креће се према роботу”. Тестирање праћења човека мобилном роботском платформом DaNI са ASUS XTION 3D сензором је рађено у радном сценарију где DaNI прати човека који се креће по правоугаоној дужи која је нацртана на поду и подељена је маркерима, који су на међусобном растојању од 0.5 m, ради лакшег визуалног праћења растојања између робота и човека. Стационарном камером снимано је кретање робота и човека. Оваква способност нуди могућност примене робота у различитим апликацијама где работи прате особу пружајући континуалну асистенцију, као што је на пример асистенција старих особа у обављању свакодневних делатности.

У осмом поглављу су дата закључна разматрања и сумирање резултата истраживања, истиче се научни и практични допринос докторске дисертације и предлажу правци даљег истраживања. На крају је дат списак коришћене литературе, два додатка са алгоритмима коришћеним у тези и биографија кандидата.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације

Циљеве постављени у пријави докторске дисертације су остварени, уз поштовање предложеног оквирног садржаја дисертације.

Представљена истраживања су по садржају обухватала више актуелних научноистраживачких праваца као што су Бајесови филтери, вештачке неуронске мрежа, оптимизација ројевима честица (PSO), Љапунове анализе стабилности система управљања и коришћења сазнања о самој природи проблема

управљања мобилним роботом и проблема праћења човека системом роботске визије. Резултати истраживања представљени у разматраној тези потврђују да је применом савремених метода и алгоритама из домена управљања вештачке интелигенције и стохастике, могуће реализовати праћење човека мобилним роботом на основу информација добијеним робусним системом роботске визије.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације

Обрађивана тема докторске дисертације је веома значајна и актуелна, како у научном смислу, тако и смислу практичне применљивости. Поднета докторска дисертација представља оригиналан и вредан научни и стручни допринос кандидата. Научни допринос разматраног рукописа и објављених радова се пре свега огледа у следећем:

- Развој робусног модула праћења на бази визије, који је есецијалан модул код система управљања мобилним роботом за праћење људи у различитим апликацијама у којима је потребно да робот ради заједно са човеком и који може да се примени на различите типове мобилних робота;
- Интеграција, тестирање и експериментална верификација стохастичких алгорита за праћење људи на основу Бајесових филтера, као што су Калманови и Партикле филтери, као и упоредна анализа алгоритама за решавање проблема роботског праћења људи;
- Развој модула за препознавање понашања човека;
- Развој хијерархијске структуре управљања која на високом новоу врши праћење и препознавање понашања човека и генерисање улаза за ниже нивое управљања у циљу извршавања задатака у којима се робот понаша као човеков сарадник;
- Развој управљачких алгоритама средњег и нижег нивоа за управљање мобилним роботом на основу информација добијених са високог хијерархијског нивоа управљања;
- Развој симулационог окружења које представља подршку развоју и примени стварног (*eng. real-world*) управљачког система, које може лако бити коришћено и за друге мобилне роботе уз одговарајуће модификације.

Оцена самосталности научног рада кандидата

Кандидат дипл.инг Емина Петровић је показала значајно теоријско и практично знање, као и висок ниво самосталности, систематичности и креативности у бављењу научно-истраживачким радом. Кандидат је приказао детаљну, свеобухватну и квалитетну анализу постојеће научне литературе из области теме докторске дисертације. Познавање литературе и стечена знања из више области је искористила да на креативан начин осмисли, формулише и примени научни приступ за развој хијерархијске структуре управљања мобилним роботом за праћење човека на основу информација добијених сензором роботске визије. Креирала је одговарајуће симулационо окружење за примену предложених методологија. Развијени алгоритми су евалуирани на Машинском факултету у Нишу, у оквиру ове докторске дисертације, где је имплементирано напредно хијерархијско управљање мобилним роботом DaNI, фирме National Instruments, коришћењем 3D сензора ASUS Xtion PRO LIVE који у експерименталном лабораторијском сценарију представља сензор роботске визије за модул препознавања и праћења људи. Такође, на IAT-у, имплементиран је модул визије који се састоји од два суб-модула, модула стерео визије за детекцију човека и модула праћења заснованим на Калмановом филтеру развијеном у оквиру ове докторске тезе.

Неки од научних резултата представљених у разматраној тези презентирани су у оквиру већег броја научних радова који су штампани у часописима и представљени на међународним и домаћим конференцијама, те штампани у зборницима радова.

ЗАКЉУЧАК

На основу прегледа поднете радне верзије докторске дисертације и увидом у публиковане научне радове кандидата, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације закључују следеће:

- Поднети рукопис одговара теми докторске дисертације одобреној од стране Наставно научног већа Машинског факултета у Нишу и Научно стручног већа Универзитета у Нишу;
- Докторска дисертација представља оригиналан и вредан научни и стручни допринос веома актуелној и значајној проблематици праћења човека мобилним роботом на основу информација добијених системом визије и примени Бајесових филтера у циљу развоја робусног система визије;
- Научни допринос и оригиналност дисертације показани су објављивањем већег броја радова;



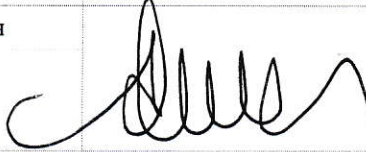


- Докторска дисертација је адекватно конципирана и технички квалитетно урађена;
- Резултати приказаног научног рада имају висок степен општости и применљивости;
- Кандидат поседује висок ниво теоријских и практичних знања из више области потребних за решавање комплексних проблема примене алгоритама за естимацију положаја човека и управљачким алгоритмима за управљање кретањем мобилног робота у циљу праћења човека и добро је упознат са досадашњим научним достигнућима;
- Кандидат је показао висок ниво самосталности и систематичности у бављењу научно-истраживачким радом, као и креативан приступ формулацији и решавању разматраних проблема.

Имајући у виду напред наведено, Комисија предлаже Наставно научно већу Машинског факултета у Нишу да се поднети рукопис кандидата **Емине Петровић**, дипломираног машинског инжењера, под називом:

„РАЗВОЈ ХИЈЕРАРХИЈСКЕ СТРУКТУРЕ УПРАВЉАЊА МОБИЛНИМ РОБОТОМ ЗА ПРАЋЕЊЕ ЉУДИ НА БАЗИ РОБУСНЕ СТЕРЕО РОБОТСКЕ ВИЗИЈЕ“

прихвати као докторска дисертација, а кандидат позове на усмену јавну одбрану.

КОМИСИЈА

| Број одлуке ННВ о именовану Комисије | | ННВ 612-128-3/2017 | |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Датум именовања Комисије | | 03.02.2017. године | |
| Р. бр. | Име и презиме, звање | | Потпис |
| 1. | др Данијела Ристић-Дуррант, ванредни професор Аутоматско управљање и роботика (Научна област) | Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен) | председник  |
| 2. | др Властимир Николић, редовни професор Аутоматско управљање и роботика (Научна област) | Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен) | ментор  |
| 3. | др Драган Антић, редовни професор Аутоматика (Научна област) | Универзитет у Нишу, Електронски факултет (Установа у којој је запослен) | члан  |
| 4. | др Жарко Ђојбашић, редовни професор Аутоматско управљање и роботика (Научна област) | Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен) | члан  |
| 5. | др Предраг Рајковић, редовни професор Математика и информатика (Научна област) | Универзитет у Нишу, Машински факултет (Установа у којој је запослен) | члан  |

Датум и место:
У Нишу, фебруар 2017