

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Образац 1.

1133/5
(Број захтева)

Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)

30.08.2012.
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

**ЕМПИРИЈСКО УПРАВЉАЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАНО НА
МАШИНСКОМ УЧЕЊУ**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Производно машинство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: МАРКО (МИОДРАГ) МИТИЋ

2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд

3. Година дипломирања: 2009.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____ / _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____ / _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____ / _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____ / _____

Година завршетка докторских студија: 2011.

Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 30.08.2012
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број:1133/4
Датум: 30.08.2012. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев Марка Митића, дипл.инж.маш., бр. 953/1 од 21.05.2012. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Зоран Миљковић, проф.др Бојан Бабић, доц.др Живана Јаковљевић, доц.др Радиша Јовановић, проф.др Жарко Ћојбашић, Машински факултет у Нишу бр. 1133/3 од 27.08.2012. године, а на основу чл. 30 Закона о високом образовању и чл. 30 Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 30.08.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«ЕМПИРИЈСКО УПРАВЉАЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАНО НА МАШИНСКОМ УЧЕЊУ»** докторанта **МАРКА МИТИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту Марку Митићу, именује се **проф.др Зоран Миљковић**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Предмет: Извештај Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације **Марка Митића, дипл.инж.маш.** по одлуци Наставно-научног већа број 1133/2 од 12.07.2012. године.

На основу поднете пријаве за израду докторске дисертације Марка Митића, дипл.инж.маш. број 953/1 од 21.05.2012. године, дате сагласности Катедре за производно машинство број 1133/1 од 21.06.2012. године и Одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 1133/2 од 12.07.2012. године именовани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације докторанда Марка Митића, дипл.инж.маш. Увидом у документацију коју је докторанд Марко Митић, дипл.инж.маш. приложио уз свој захтев за израду докторске дисертације, после разматрања Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

о прихватању теме докторске дисертације
под насловом

Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота базирано на машинском учењу

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Општи биографски подаци

Марко (Миодраг) Митић, дипл.инж.маш., рођен је 17. јула 1984. године у Београду, Република Србија. Основну школу „Јован Дучић”, као и Политехничку академију - средњу техничку школу (звање: *техничар за роботiku и флексибилне производне системе*) завршио је у Београду. На Машински факултет у Београду уписао се школске 2003/2004. године, а дипломирао је 2. децембра 2009.г. на Катедри за аутоматско управљање са просечном оценом 9,03 (девет и 03/100) и оценом 10 (десет) на дипломском раду, завршивши студије према Статуту из 1999. године.

Након дипломирања уписао је докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2009/2010. године. Током првог семестра утврђени су правци научноистраживачког рада на Катедри за производно машинство, да би 8.03.2010.г. био озваничен и Програм усавршавања који се реализује под руководством проф. др Зорана Миљковића. Кандидат је положио све испите на докторским студијама Машинског факултета у Београду са просечном оценом 9,94 (девет и 94/100) и тренутно је студент V семестра докторских студија.

Од 1.04.2010. године има статус истраживача-докторанда (стипендисте) тада Министарства за науку и технолошки развој, а сада Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе

Републике Србије, одлука бр. 451-03-00098/2010-02/01 од 3.03.2010. године (Уговор бр. 828). Ангажован је на научноистраживачким пројектима Владе Републике Србије, прво у оквиру Министарства за науку и технолошки развој на пројекту под називом *Флексибилна аутоматизација и имплементација интелигентних технолошких система у домену производње делова од лима* (евид.бр. TP-14031, руководилац: проф. др Бојан Бабић, Београд, 2008 - 2010.г.), а сада у оквиру Министарства просвете, науке и технолошког развоја на актуелном пројекту под називом *Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима* (евид. бр. TP-35004, руководилац: проф. др Бојан Бабић, Београд, 2011 - 2014.г.). Као студент докторских студија, а у својству докторанда-стипендисте Министарства, кандидат је кроз досадашње усавршавање и двоипогодишњи рад на научноистраживачким пројектима, постао аутор и коаутор већег броја радова објављених у водећим међународним и националним часописима, као и у зборницима радова међународних и националних научних скупова. Аутор је и коаутор два техничка решења која су остварена у оквиру актуелног пројекта технолошког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја. На основу остварених научноистраживачких резултата Марко Митић је изабран 2011.г. у звање истраживач-сарадник.

Кандидат, као докторанд-стипендиста Министарства, учествује и у активностима НИО-Машински факултет у Београду у погледу одржавања лабораторијске опреме, четири комплета мобилних робота **LEGO Mindstorms NXT**, као и **Khepera II – KheIIBase** мобилног робота са додатном опремом (компатибилна камера **CMUcam VISION TURRET–KheCMUCam**; роботска рука **Khepera Gripper Turret** – хватач **KheGrip**). Од самог почетка докторских студија, почевши од летњег семестра школске 2009/2010.г. Марко Митић је активно укључен у наставни процес Катедре за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду, и то на Основним академским студијама (предмет: *Компјутерска симулација и вештачка интелигенција*) и Мастер академским студијама (предмети: *Интелигентни технолошки системи*; *Методе одлучивања*; *Аксиоматске методе*). Кандидат на овим наставним предметима реализује све видове вежби (аудиторне вежбе, лабораторијске вежбе, преглед самосталних задатака, преглед пројеката). Истовремено, Марко Митић је одговоран за развој и одржавање интернет страница за наставне потребе свих предмета на којима је сарадник.

Енглески језик: говори, чита, пише

Рад на рачунару: напредно коришћење (MS Office, Matlab, Catia V5, AutoCAD, HTML/CSS, Adobe Photoshop, CorelDraw, LaTeX, познавање C/C++/Java програмских језика)

Истраживачке области:

Роботика, Емпиријско управљање, Вештачка интелигенција, Машинско учење ојачавањем, Мехатроника, Управљање робота на основу информација које су добијене од камере

Асоцијације: ЈУПИТЕР (Србија)

1.2 Активности на докторским студијама

Кандидат Марко Митић, дипл.инж.маш., уписао је Докторске студије на Машинском факултету у Београду школске 2009/2010. године. У циљу реализације програма усавршавања положио је следеће обавезне, изборне и специјалистичке предмете:

Први семестар докторских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Виши курс математике	Проф. др Стојан Раденовић Проф. др Душан Георгијевић	5	10 (десет)

Нумеричке методе	Проф. др Миодраг Спалевић Проф. др Слободан Радојевић	5	9 (девет)
ОМНИР и комуникација	Проф. др Милош Недељковић	5	10 (десет)
Аквизиција и обрада експерименталних података	Проф. др Милош Главоњић	5	10 (десет)
Лабораторија 1	Проф. др Зоран Миљковић	5	10 (десет)

Други семестар докторских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Одабрана поглавља из механике	Проф. др Вукман Човић	5	10 (десет)
Аутономни системи и машинско учење	Проф. др Зоран Миљковић	5	10 (десет)
Аналитичке методе у инжењерском пројектовању	Проф. др Бојан Бабић	5	10 (десет)
Лабораторија 2	Проф. др Зоран Миљковић	15	10 (десет)

Трећи семестар докторских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Системи вештачких неуронских мрежа	Проф. др Зоран Миљковић	5	10 (десет)
Управљање кретањем механичких система	Проф. др Михаило Лазаревић	5	10 (десет)
Лабораторија 3	Проф. др Зоран Миљковић	15	10 (десет)

Четврти семестар докторских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Приказ стања у области истраживања	Проф. др Зоран Миљковић	5	10 (десет)
Лабораторија 4 (Пројекат у области докторске дисертације)	Проф. др Зоран Миљковић	22	10 (десет)

Марко Митић је на докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду положио четири обавезна и пет изборних предмета (сваки вреди 5 ЕСПБ бодова), чиме је остварио укупно 45 ЕСПБ бодова. Резултати научноистраживачког рада Марка Митића на Машинском факултету у Београду, реализовани кроз интензиван експериментални рад у Лабораторији, а верификовани објављивањем радова, указују на то да је кандидат веома успешно остварио још 62 ЕСПБ бода (укључујући дат приказ стања у области истраживања и обавезну одбрану Пројекта, према одредбама члана 15. Правилника о докторским студијама Машинског факултета у Београду). Учешћем у настави, као сарадник на предметима Катедре за производно машинство (*Компјутерска симулација и вештачка интелигенција* - BSc; *Интелигентни технолошки системи* - MSc; *Методе одлучивања* - MSc; *Аксиоматске методе* - MSc), Марко Митић је остварио 13 ЕСПБ бодова. Дакле, у складу са чланом 15. Правилника о докторским студијама Машинског факултета у Београду, кандидат је остварио укупно 120 ЕСПБ бодова чиме је испунио основни услов да пријави докторску дисертацију.

Кандидат има објављен рад у истакнутом међународном часопису са *SCI* листе и рад у водећем часопису националног значаја.

1.3 Списак објављених научних радова и других релевантних резултата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на предложеној теми

1.3.1. Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

- [1] Miljković,Z., Vuković,N., Mitić,M., Babić,B., **New Hybrid Vision-Based Control Approach for Automated Guided Vehicles**, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (ISSN 0268-3768 Print), Article in press_DOI: 10.1007/s00170-012-4321-y (ISSN 1433-3015 Online) (Online First™ Articles - 6 July 2012), Springer-Verlag London Ltd., (**Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,103 (2011) → M22**; извор KoBSON)

1.3.2. Рад у водећем часопису националног значаја у области машинство и индустријски софтвер (M51):

- [2] Mitić,M., Miljković,Z., Babić,B., **Empirical Control System Development for Intelligent Mobile Robot Based on the Elements of the Reinforcement Machine Learning and Axiomatic Design Theory**, *FME Transactions* (ISSN 1451-2092), New Series, Vol.39, No.1, pp. 1-8, University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, 2011. (SCOPUS)

1.3.3. Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини (M33):

- [3] Mitić,M., Miljković,Z., Babić,B., Majstorović,V., **Q-Learning Framework as a Solution for an Obstacle Avoidance Problem in Unknown Environment**, *Introduction paper* presented at the 6th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", 6-10 June 2011, Published in Conference Proceedings (ISBN 978-86-7083-727-0), pp. 463-468, and in International Journal *Total Quality Management & Excellence* (ISSN 2217-5768), Vol. 39, No. 2, pp. 21-25, Belgrade, Serbia, 2011.
- [4] Miljković,Z., Mitić,M., Babić,B., Diryag,A., **Q-learning Algorithm for a Mobile Robot Obstacle Avoidance in an Unknown Environment Based on Artificial Neural Networks**, Proceedings of the 4th International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2011), pp. 431-440, Thessaloniki, Greece, 3-5 October, 2011.
- [5] Mitić,M., Miljković,Z., Lazarević,M., Babić,B., Lazarević,I. **Image-Based Visual Servo Control of Robot Manipulator Under Parameter Uncertainties**, Proceedings of the 29th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, pp. 174-177, Belgrade, 26-29 September, 2012.

- [6] Vuković,N., Miljković,Z., Mitić,M., Babić,B., Lazarević,I., **Autonomous Navigation of Automated Guided Vehicle Using Monocular Camera**, accepted paper, 11th International Conference MMA 2012 - Advanced Production Technologies, Novi Sad, Serbia, 20-21 September, 2012.

1.3.4. Радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини (M63):

- [7] Митић,М., Миљковић,З., Вуковић,Н., Лазаревић,И., **Концепцијско решење управљања мобилног робота у домену унутрашњег транспорта материјала интелигентног технолошког система**, 37. ЈУПИТЕР Конференција, 39. симпозијум „УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ У ИНДУСТРИЈИ ПРЕРАДЕ МЕТАЛА“, Зборник радова - CD, стр. 4.23-4.28, Београд, 10-11. мај 2011.
- [8] Бабић,Б., Миљковић,З., Бугарић, У., Бојовић,Б., Вуковић,Н., Митић, М., Петровић, М., **Примена интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснована на еколошким принципима - преглед резултата истраживања на пројекту TP-35004**, 38. ЈУПИТЕР Конференција, *Уводни рад*, Зборник радова - CD, стр. УР.67-УР.75, Београд, 15-16. мај 2012.
- [9] Митић,М., Миљковић,З., Бабић,Б., **Емпиријско управљање интелигентног роботског система - преглед стања у области истраживања**, 38. ЈУПИТЕР Конференција, 34. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова - CD, стр. 3.149-3.158, Београд, 15-16. мај 2012.

1.3.5. Пројекти – Техничка и развојна решења:

- [1] Бабић,Б., Миљковић,З., Бојовић,Б., Вуковић,Н., Митић,М., **ФЛЕКСИБИЛНА АУТОМАТИЗАЦИЈА И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА У ДОМЕНУ ПРОИЗВОДЊЕ ДЕЛОВА ОД ЛИМА**, Пројекат технолошког развоја који финансира Министарство за науку и технолошки развој Владе Републике Србије: TP-14031, Београд, 2008 – 2010.
- [2] Бабић,Б., Миљковић,З., Бугарић,У., Матија,Л., Бојовић,Б., Вуковић,Н., Лазаревић,И., Митић,М., Петровић,М.М., Милеуснић,И., **ИНОВАТИВНИ ПРИСТУП У ПРИМЕНИ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА ЗА ПРОИЗВОДЊУ ДЕЛОВА ОД ЛИМА ЗАСНОВАН НА ЕКОЛОШКИМ ПРИНЦИПИМА**, Пројекат технолошког развоја који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије: TP-35004, Београд, 2011 – 2014.
- [3] Вуковић,Н., Миљковић,З., Митић,М., Бабић,Б., Петровић,М., **Хибридни управљачки алгоритам за управљање и естимацију положаја интелигентног мобилног робота базираног на калибрисаној камери (*нова метода*: за управљање и оцењивање положаја мобилног робота развијана у пројекту TP-35004 МПНиТР Владе Републике Србије)**, 2011.
- [4] Митић,М., Миљковић,З., Вуковић,Н., Бабић,Б., Лазаревић,И., **Нови хибридни емпиријски управљачки систем интелигентног робота вертикалне зглобне конфигурације базиран на информацијама од камере (*нова метода*: обухвата интеграцију интелигентног система базираног на емпиријски прикупљеним информацијама од камере и класичног управљачког система робота на бази грешке која је у корелацији са параметрима слике, а развијана је у пројекту TP-35004 МПНиТР Владе Републике Србије)**, 2011.

1.4 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Марко Митић је својим досадашњим истраживачким активностима показао посебну заинтересованост, квалитет и изражену способност за научноистраживачки рад. Публиковани научни радови у истакнутом часопису међународног значаја, водећем часопису националног значаја и у зборницима радова скупова међународног и националног значаја, као и верификована техничка решења, указују на изразит смисао кандидата да се бави комплексним теоријским и експерименталним истраживањима.

Кандидат је у претходном двоипогодишњем периоду извршио потребна иницијална истраживања кроз рад у Лабораторији, активним учешћем у развоју две нове методе у оквиру актуелног научног пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја (ев. ознака ТР 35004), као и публикавањем већег броја научних радова, што га квалификује за рад на предметној докторској дисертацији.

Објављени научни радови и пројектни резултати Марка Митића, дипл.инж.маш., суштински су повезани са научном облашћу којој припада предложена тема, што га, према мишљењу Комисије, квалификује за самосталан, успешан и ефикасан теоријски и експериментални научноистраживачки рад на предметној докторској дисертацији.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет планираних истраживања односи се на развој и примену новог управљачког система интелигентног мобилног робота базираног на емпиријски прикупљеним сензорским информацијама из технолошког окружења, са крајњим циљем смањења укупног технолошког времена што је оствариво кроз значајно подизање нивоа ефикасности унутрашњег транспорта материјала, припремака, обрадака, израдака и готових делова у постојећем производном погону.

У ужем смислу, планирана истраживања су усмерена на развој емпиријског управљачког система интелигентног мобилног робота на бази машинског учења ојачавањем (енгл. *Reinforcement Learning*) и напредних техника вештачке интелигенције (енгл. *Softcomputing*) у циљу решавања карактеристичних проблема навигације, избегавања препрека, визуелног навођења и аутономног одређивања положаја (позиције и оријентације) робота у оквиру комплексног технолошког система, као предуслова за успешну интелигентну роботизовану манипулацију.

Достигнућа науке и напредних технологија почетком 21. века допринела су интензивирању развоја мобилних индустријских робота (и робоколица), као и индустријских робота вертикалне зглобне конфигурације који, поред извршавања постављених технолошких задатака, могу да уче и да се прилагођавају стохастичким променама у радном окружењу, посебно коришћењем прикупљених сензорских информација. У складу са наведеним, предложена докторска дисертација подразумева допринос развоју методологије за концепцијско пројектовање интелигентног понашања мобилних робота (и робоколица) који имају могућност разумевања процеса у радном окружењу, односно способност одабира најбољег могућег понашања сходно постављеном технолошком задатку и у складу са тренутним стањем расположивог радног простора технолошког окружења. У циљу утврђивања емпиријске разлике између оствареног и предвиђеног одзива система, сензорски подсистеми са способношћу издвајања корисних информација и сигнала су *a priori* неопходни за аквизицију свих значајних "одговора" технолошког окружења. Камера, као могући сензор за интеграцију, обезбеђује могућност препознавања објеката у реалном технолошком окружењу и зато је битна компонента система препознавања код индустријских робота. С обзиром да актуелна истраживања у свету указују на неадекватну покривеност у домену емпиријског управљања роботског система базираног на информацијама добијеним од камере, овај научноистраживачки правац представља једну од полазних области истраживања у оквиру рада на предметној докторској дисертацији.

Дакле, планирана истраживања, у оквиру предметне докторске дисертације, по садржају обухватају више актуелних научноистраживачких праваца које се односе на: навигацију, избегавање препрека и одређивање положаја интелигентног мобилног робота (агента) у технолошком окружењу на бази теорије емпиријског управљања; визуелно навођење интелигентног агента применом класичног управљачког система на основу грешке у параметрима слике и посебно емпиријског управљачког система базираног на машинском учењу ојачавањем; као и даљи развој и имплементацију система вештачких неуронских мрежа у циљу брже конвергенције емпиријских алгоритама управљања ка оптималном решењу.

Кључни научни циљ дисертације је развој пилотског експерименталног система емпиријског управљања интелигентног индустријског мобилног робота (робоколица), базираног на концепту машинског учења, уз напредну обраду и коришћење комплексних информација о објектима у технолошком окружењу добијених од камере, са крајњим доприносом у домену увођења интелигентне роботизоване манипулације радним предметима (припремак, обрадак, израдак, готов део) у оквиру технолошког система за производњу делова од лима.

Основни циљеви истраживања су:

- Анализа и даљи развој алгоритама за решавање проблема избегавања препрека и одређивања позиције и оријентације мобилног робота (робоколица) у дефинисаном лабораторијском моделу технолошког окружења;
- Развој новог алгорита за визуелно навођење и навигацију мобилног робота на бази машинског учења ојачавањем, *softcomputing* техника вештачке интелигенције и конвенционалних метода управљања на основу грешке која је у корелацији са параметрима слике (енгл. *Image-based visual servoing*);
- Тестирање и експериментална верификација хибридног емпиријског алгорита управљања мобилног робота који обухвата подсистеме управљања за изабрану класу карактеристичних проблема навигације, избегавања препрека и навођења робота на основу информација о објектима у технолошком окружењу добијених од камере, са циљем утврђивања оцене успешности интелигентног понашања у домену изабраног комплексног задатка и минимизираних грешки учења.

Крајем 20. века и на почетку 21. века публиковано је више научних радова, књига најчешће монографског типа, као и докторских дисертација, који са различитих становишта третирају проблеме емпиријског управљања интелигентних роботских система, навигације и избегавања препрека у непознатом и познатом окружењу, аквизиције и анализе слике на бази знања и машинског учења, локализације и визуелног навођења, као и унутрашњег транспорта материјала применом индустријских мобилних робота у домену имплементације у интелигентним технолошким системима (ИТС). Овде се наводе само неки од научних радова, књига и докторских дисертација који су директно или индиректно повезани са развојем и применом емпиријског управљања интелигентног роботског система у оквиру ИТС, а инспирисали су предложено истраживање:

- [1] Duguleana, M., Barbuceanu, F.G., Teirelbar, A., Mogan, G., (2012) Obstacle Avoidance of Redundant Manipulators using Neural Networks based Reinforcement Learning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28/2, 132–146
- [2] Kim, Y-H., Lee, S-W., Yang, H., Shell, D., (2012) Toward autonomous robotic containment booms: visual servoing for robust inter-vehicle docking of surface vehicles. *Intelligent Service Robotics*, 5/1, 1–18
- [3] Szeliski, R., (2011) *Computer Vision – Algorithms and Applications*, Springer

- [4] Jaradat, M.A.K., Al-Rousan, M., Quadan, L., (2011) Reinforcement Based Mobile Robot Navigation in Dynamic Environment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27/ 1, 135–149
- [5] Corke, P., (2011) *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB*, Springer Tracts in Advanced Robotics
- [6] Janabi-Sharifi, F., Lingfeng, D., Wilson, W.J., (2011) Comparison of Basic Visual Servoing Methods. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 16/5, 967-983
- [7] Martinez-Barbera, H., Herrero-Perez, D., (2010) Autonomous navigation of an automated guided vehicle in industrial environments. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26/4, 296–311
- [8] Wang, Y., Lang, H.X., de Silva, C.W., (2010) A Hybrid Visual Servo Controller for Robust Grasping by Wheeled Mobile Robots. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 15/5, 757–769
- [9] Quintía, P., Iglesias, R., Rodríguez, M.A., Regueiro, C.V., (2010) Simultaneous Learning of Perception and Action in Mobile Robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 58/12, 1306–1315
- [10] Lin, L., Xie, H., Zhang, D., Shen, L., (2010) Supervised Neural Q_learning based Motion Control for Bionic Underwater Robots. *Journal of Bionic Engineering*, 7 Supplement, S177–S184
- [11] Миљковић, З., Александрић, Д., (2009) *Вештачке неуронске мреже – збирка решених задатака са изводима из теорије*, Машински факултет у Београду
- [12] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Gool, L.V., (2008) SURF: Speeded Up Robust Features. *Computer Vision and Image Understanding*, 110/3, 346–359
- [13] Carreras, M., Yuh, J., Battle, J., Ridao, P. (2007) Application of SONQL for Real-Time Learning of Robot Behaviours. *Robotics and Autonomous Systems*, 53/8, 628–642
- [14] Mariottini, G.L., Oriolo, G, Prattichizzo, D. (2007) Image-based visual servoing for nonholonomic mobile robots using epipolar geometry. *IEEE Transactions on Robotics*, 23/1, 87-100
- [15] Miljković, Z., Babić, B., (2007) Empirical control strategy for learning industrial robot. *FME Transactions, New Series*, 35/1, 1–8
- [16] Chaumette, F., Hutchinson, S., (2007) Visual Servo Control, Part II: Advanced Approaches. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 14/1, 109–118
- [17] Chaumette, F., Hutchinson, S., (2006) Visual Servo Control, Part I: Basic Approaches. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 13/4, 82–90
- [18] Paragios, N., Chen, Y., Faugeras, O., (Editors) (2006) *Handbook of Mathematical Models in Computer Vision*, Springer
- [19] Lowe, D.G., (2004) Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60/2, 91-110
- [20] Hartley, R., Zissermann, A., (2004) *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd ed., Cambridge University Press
- [21] Brezočnik, M., Balić, J., Brezočnik, Z. (2003) Emergence of intelligence in next-generation manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 19, 55–63.
- [22] Миљковић, З., (2003) *Системи вештачких неуронских мрежа у производним технологијама*, Машински факултет у Београду

- [23] Perez, M.C., (2003) A Proposal of a Behavior Based Control Architecture with Reinforcement Learning for an Autonomous Underwater Robot. *PhD Thesis, University of Girona*
- [24] Gaskett, C., (2002) Q-Learning for Robot Control. *PhD Thesis, The Australian National University*
- [25] Миљковић, З., (2000) *Развој управљачких алгоритама за аутономне индустријске роботе на бази система препознавања и учења*, Докторска дисертација, Машински факултет у Београду
- [26] Miljković, Z., (2000) Empirical Control Strategy for Autonomous Industrial Robot Based on Recognition System and Machine Learning. *International Journal of Production Engineering and Computers*, 3/3, 29-34
- [27] Ma, Y., Kosecka, J., Sastry, S.S., (1999) Vision guided navigation for a nonholonomic mobile robot. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 15/3, 521–536
- [28] Sutton, R.S., Barto, A.G., (1998) *Reinforcement Learning: An Introduction*, MIT Press
- [29] Brown, R.A., (1997) Consciousness in a Self-Learning, Memory-Controlled, Compound Machine. *Neural Networks*, 10/7, 1333-1343
- [30] Corke, P.I., (1996) *Visual Control of Robots*, John Wiley & Sons
- [31] Hutchinson, S., Hager, G., Corke, P., (1996) A tutorial on visual servo control. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 12/5, 651–670
- [32] Zalzala, A.M.S., Morris, A.S. (1996) *Neural Networks for Robotic Control – Theory and Applications*, Ellis Horwood
- [33] Kaelbling, L., Littman, M., Moore, A., (1996) Reinforcement learning: A survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 4, 237-285
- [34] Brown, R.A., (1994) *Machines That Learn*, Oxford University Press
- [35] Dagli, C.H., (1994) *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing*, Chapman & Hall
- [36] Haralick, R.M., Shapiro, L.G. (1992, 1993) *Computer and Robot Vision – Vol. I & II*, Addison-Wesley Publishing Company
- [37] Watkins, C., Dayan, P., (1992) Technical note: Q-learning. *Machine Learning*, 8/3-4, 279–292
- [38] Kosko, B., (1992) *Neural Networks for Signal Processing*, Prentice Hall
- [39] Watkins, C., (1989) Learning from Delayed Rewards. *PhD Thesis, King's College, London*
- [40] Duda, R.O., Hart, P.E., (1973) *Pattern Classification and Scene Analysis*, John Wiley & Sons

Референце [1,4,9,10,13,15,22,23,24,25,26,28,29,33,34,37,39] представљају битне публиковане резултате у области емпиријског управљања и машинског учења ојачавањем, а референце [2,6,8,12,14,16,17,19,27,30,31,36] се односе на област аквизиције и комплексне анализе слике у функцији повезивања система препознавања базираних на камери са управљачким законима интелигентних роботских система.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Сходно понашању интелигентних бића у природи која интуитивно осећају које је понашање најповољније у датим условима и према постављеном задатку, теорија емпиријског управљања такође указује на неопходност адаптивног понашања интелигентних агената (мобилни роботи) у радном окружењу. Самоодрживо понашање индустријских роботских система (аутономност у раду), који будући рад заснивају на оцени успешности извршавања задатка у прошлости, представља крајњи научни циљ предложеног истраживања и рада на предметној докторској дисертацији. У циљу теоријске и експерименталне верификације емпиријског концепта развоја управљачког система интелигентног мобилног робота, одабране су следеће полазне хипотезе планираних истраживања:

- Применом савремених метода и алгоритама теорије емпиријског управљања и машинског учења ојачавањем, могуће је развити управљачки систем интелигентног роботског система који има способности машинског учења и прилагођавања реалним условима за карактеристичне проблеме навигације и избегавања препрека у изабраном технолошком окружењу;
- Имплементацијом *softcomputing* техника вештачке интелигенције у процес развоја емпиријског управљачког система могуће је да се обезбеди ефикасно машинско учење мобилног робота током фазе истраживања технолошког окружења (бржа конвергенција емпиријских алгоритама управљања ка оптималном решењу), а у циљу реализације аутономног понашања у домену комплексног задатка локализације (одређивања позиције и оријентације) робота у лабораторијском моделу технолошког система;
- Развојем хибридног емпиријског управљачког система интелигентног мобилног робота на бази информација добијених од камере, односно на основу грешке која је у корелацији са параметрима слике (енгл. *Image-based visual servoing*), могуће је остварити интелигентну роботизовану манипулацију радним предметима (припремак, обрадак, израдак, готов део) у оквиру напредног технолошког система за производњу делова од лима.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

С обзиром на изразито мултидисциплинарни карактер научноистраживачке области предложених истраживања која подразумева значајан утицај математичких, механичких, софтверских и сензорско-електронских аспеката, научне методе истраживања које ће се применити у предметној докторској дисертацији су:

- ♦ *аналитички приступ* за решавање проблема локализације интелигентног мобилног робота у моделираном технолошком окружењу, проблема управљања на бази информација добијених од камере које су у корелацији са параметрима слике, као и проблема везаних за развој виртуелних технолошких окружења у циљу симулације и верификације, и
- ♦ *експериментални метод* развоја емпиријског управљачког система на бази машинског учења ојачавањем и *softcomputing* техника вештачке интелигенције, на основу кога ће се оцењивати утицај параметара током аквизиције и обраде сензорских информација добијених од камере, у циљу доказивања оправданости и изразите потребе имплементације теорије емпиријског управљања у процес концепцијског пројектовања нових управљачких система интелигентних индустријских мобилних робота.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Резултати предложених научних истраживања треба да омогуће имплементацију новог емпиријског управљачког система мобилног робота намењеног за потребе ефикасног унутрашњег транспорта у оквиру ИТС. За познате услове, одређене изабраним технолошким процесом, са израженом потребом решавања проблема локализације, навигације, избегавања препрека и визуелног навођења у оквиру интелигентног роботизованог технолошког окружења, према постављеним полазним хипотезама, очекивани научни резултати истраживања у предметној докторској дисертацији су:

- ♦ Нови алгоритам и метода за избегавање препрека и локализацију мобилног робота на бази машинског учења коришћењем напредних техника вештачке интелигенције у домену технолошког окружења које није специјално структурирано и до краја дефинисано;
- ♦ Нова метода навигације мобилног робота на основу карактеристика издвојених из слике објекта које су коришћене за вредносну оцену положаја циља (карактеристичног објекта) у односу на компатибилну калибрисану камеру;
- ♦ Нова метода визуелног навођења интелигентног роботског система на основу грешке која је у директној корелацији са параметрима слике (енгл. *Image-based visual servoing*), у циљу манипулације радним предметима у оквиру изабраног технолошког система;
- ♦ Нова метода развоја и имплементације хибридног емпиријског управљачког система индустријског мобилног робота намењеног унутрашњем транспорту у оквиру лабораторијског модела интелигентног технолошког система.

Ови научни резултати су од изузетног значаја за даљи развој, као и свеобухватно увођење и интеграцију мобилних робота у интелигентне технолошке системе, уз перманентно решавање сложених проблема роботизованог унутрашњег транспорта. Добијени резултати омогућиће подстицање ефикасности, као и неопходну оптимизацију модела машинског учења интелигентног мобилног робота са аспекта брже конвергенције ка оптималном решењу, што представља значајан научни допринос унапређењу мултидисциплинарног приступа при решавању комплексних проблема роботизованог унутрашњег транспорта у домену производног машинства.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

План истраживања састоји се из следећих фаза:

1. Критичка анализа релевантних литературних извора;
2. Теорија емпиријског управљања - специфичности и примена;
3. Анализа могућности имплементације теорије емпиријског управљања у процес концепцијског пројектовања управљачких система индустријских мобилних робота у оквиру ИТС;
4. Идентификација проблема препознавања комплексних објекта у циљу развоја емпиријског управљачког система на бази информација добијених од камере;
5. Анализа различитих приступа решавању проблема локализације, навигације, избегавања препрека, идентификације и класификације комплексних објекта и визуелног навођења мобилног робота;

6. Развој новог алгоритма емпиријског управљања кретања мобилних робота (уз манипулацију радним предметима у оквиру ИТС-а), кроз примену концепта машинског учења и *softcomputing* техника вештачке интелигенције;
7. Моделирање мобилног робота у виртуелном технолошком окружењу, са циљем решавања карактеристичних проблема управљања роботског система;
8. Прилог развоју аналитичких модела локализације мобилног робота на основу информација добијених од камере у функцији роботизоване манипулације у оквиру моделираног технолошког окружења;
9. Тестирање и експериментална верификација резултата имплементације хибридног управљачког система индустријског мобилног робота базираног на емпиријски прикупљеним информацијама из окружења, намењеног унутрашњем транспорту у оквиру интелигентног технолошког система.

Оквирна структура рада представљена је следећим целинама:

1. Увод. Идентификација проблема управљања мобилног робота на бази емпиријски прикупљених информација из окружења.
2. Емпиријско управљање мобилног робота - развој и примена.
3. Преглед досадашњих резултата истраживања проблема емпиријског управљања роботског система и анализа могућности имплементације индустријских мобилних робота у оквиру ИТС.
4. Анализа и развој управљања роботског система на основу грешке која је у корелацији са параметрима слике објекта добијене од калибрисане компатибилне камере (енгл. *Image-based visual servoing*).
5. Аналитичко моделирање кретања мобилног робота у технолошком окружењу.
 - 5.1. 3D моделирање ("*solid modeling*").
 - 5.2. Локализација мобилног робота у моделираном технолошком окружењу.
 - 5.3. Навигација мобилног робота и избегавање препрека у моделираном технолошком окружењу.
6. Развој емпиријског управљања кретања интелигентног мобилног робота на бази машинског учења ојачавањем (енгл. *Reinforcement Learning*) и *softcomputing* техника вештачке интелигенције.
7. Тестирање и експериментална верификација резултата пилотског хибридног система емпиријског управљања мобилног робота, уз оцену успешности интелигентног понашања у домену комплексних задатака локализације, навигације, избегавања препрека и визуелног навођења, у циљу манипулације радним предметима у дефинисаном радном простору лабораторијског модела технолошког окружења. Дискусија.
8. Закључци.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације Марка Митића, дипл.инж.маш. архивираних под бројем 953/1 од 21.05.2012. године, а сходно сагласности Катедре за производно машинство број 1133/1 од 21.06.2012. године, као и одлуци Наставно-научног већа бр. 1133/2 донетој 12.07.2012. године, Комисија за подношење извештаја о прихватању теме и оцену научне заснованости докторске дисертације закључује да је предложена тема научно

утемељена и адекватна за израду докторске дисертације високог ранга, као и да кандидат Марко Митић, дипл.инж.маш., испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да кандидату

Марку Митићу, дипл.инж.маш.

одобри израду докторске дисертације са темом

Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота базирано на машинском учењу,

научна област: **машинство (производно машинство).**

За **ментора** кандидата током рада на предметној докторској дисертацији предлаже се **др Зоран Миљковић**, редовни професор Машинског факултета у Београду.

С поштовањем,

у Београду, 21.08.2012. год.

Чланови Комисије:

Др Зоран Миљковић, редовни професор
Машински факултет у Београду

Др Бојан Бабић, редовни професор
Машински факултет у Београду

Др Живана Јаковљевић, доцент
Машински факултет у Београду

Др Радиша Јовановић, доцент
Машински факултет у Београду

Др Жарко Ћојбашић, ванредни професор
Машински факултет у Нишу

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Марка М. Митића, дипл. инж. маш.

Име и презиме ментора: др Зоран Миљковић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Miljković,Z., Vuković,N., Mitić,M., Babić,B., New Hybrid Vision-Based Control Approach for Automated Guided Vehicles, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (ISSN 0268-3768 Print), Article in press_Doi: 10.1007/s00170-012-4321-y (ISSN 1433-3015 Online) (Online First™ Articles - 6 July 2012. <http://www.springerlink.com/content/j551424l087nnj42/>), Springer-Verlag London Ltd., (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,103 (2011) → M22; извор KoBSON)
2. Babić,B., Miljković,Z., Vuković,N., Antić,V., Towards Implementation and Autonomous Navigation of an Intelligent Automated Guided Vehicle in Material Handling Systems, *Iranian Journal of Science and Technology (IJST) – Transaction B: Engineering (Transactions of Mechanical Engineering)* (ISSN 1028-6284), Vol. 36, No. M1, pp. 25-40, Printed in The Islamic Republic of Iran, © Shiraz University, April 2012. http://www.shirazu.ac.ir/en/index.php?page_id=2613 (SCOPUS; Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,375 (2011) → M23; извор KoBSON)
3. Šibalija,T., Majstorović,V., Miljković,Z., An Intelligent Approach to Robust Multi-Response Process Design, *International Journal of Production Research* (ISSN 0020-7543 Print; ISSN 1366-588X Online), Vol.49 Issue: 17, pp. 5079-5097, Taylor & Francis, 1 September 2011. (Available online: 17 August 2011; DOI:10.1080/00207543.2010.511476); <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2010.511476> (Science Citation Index-WoS® – IF = 1,115 (2011) → M21; извор KoBSON)
4. Babić,B., Nešić,N., Miljković,Z., A Review of Automated Feature Recognition with Rule-Based Pattern Recognition, *Journal Computers in Industry* (ISSN 0166-3615), Vol.59 (4), pp. 321-337, Elsevier, April 2008. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507001327> (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 2,014 → M21; извор KoBSON)
5. Babić,B., Nešić,N., Miljković,Z., Automatic Feature Recognition Using Artificial Neural Networks to Integrate Design and Manufacturing - Review of Automatic Feature Recognition Systems, *Journal AI Edam: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* (ISSN 0890-0604), Vol.25 Issue: 3, pp. 289-304, Cambridge University Press, August 2011. <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=8325257&fulltextType=RV&fileId=S0890060410000545> (First published online: 17 December 2010; DOI:10.1017/S0890060410000545); (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,786 (2011) → M22; извор KoBSON)
6. Miljković,Z., Gerasimović,M., Stanojević,Lj., Bugarić,U., Using Artificial Neural Networks to Predict Professional Movements of Graduates, *Odgojne Znanosti-Educational Sciences*; Continued by: *Croatian Journal of Education-Hrvatski Časopis za Odgoj i obrazovanje* (od 2011) (ISSN 1846-1204), Vol.13 (3), pp. 117-141, Published by the Faculty of Teacher Education University of Zagreb, December 2011. <http://cje.ufzg.hr> (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,220 (2011)→ M23; извор KoBSON)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

Ⓐ) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П.

Проф. др Милорад Милованчевић