

Предмет: Извештај Комисије о испуњености услова кандидата др Марка М. Митића
за избор у звање НАУЧНИ САРАДНИК

На основу одлуке Изборног већа у оквиру Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 21-841/2 од 25.04.2014. године именовани смо за чланове Комисије са задатком да, према чл. 59. Закона о научноистраживачкој делатности, чл. 32. Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача и чл. 66 Статута Машинског факултета, утврдимо испуњеност услова кандидата др Марка М. Митића, дипл.инж.маш., за избор у научно звање **НАУЧНИ САРАДНИК**.

После прегледаног материјала који је достављен Комисији, а који се састоји од биографије кандидата, библиографије кандидата са фотокопијама радова, фотокопије уверења о одбрањеној докторској дисертацији, као и на основу познавања кандидата и увида у његов научноистраживачки и стручни рад, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

А. Лични подаци

Име и презиме: Марко Митић
Датум рођења: 17. јул 1984. године
Место рођења: Београд, Република Србија
Контакт: Е-mail: mmitic@mas.bg.ac.rs

Б. образовање

Б.1. Основни подаци

1991-1999. Основна школа „Јован Дучић”, Београд.
1999-2003. Политехничка академија - средња техничка школа, Београд; усмерење: техничар за роботiku и флексибилне производне системе.
2003-2009. Универзитет у Београду - Машински факултет. Дипломирао на Катедри за Аутоматско управљање са просечном оценом 9,03 и оценом 10 на дипломском раду (по Статуту из 1999. године).
2009-2014. Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду завршио са просечном оценом 9,93.
15. 04.2014. Докторирао на Машинском факултету Универзитета у Београду (тема: *Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота базирано на машинском учењу*, ментор: проф. др Зоран Миљковић).

Б.2. Остале информације

Енглески језик: говори, чита, пише

Рад на рачунару: Напредно коришћење (MS Office, Matlab, Python, AutoCad, Catia, HTML/CSS, Adobe Photoshop, LaTeX, познавање C/C++/Java програмских језика)

Истраживачке области: Роботика, Аутономни системи и машинско учење, Емпиријско управљање, Вештачка интелигенција, Мехатроника, Управљање на основу информација добијених од камере

В. Кретање у послу

1.05.2013. - ... Запослен на Машинском факултету Универзитета у Београду као *истраживач сарадник* на пројекту (ТР-35004) Министарства просвете, науке и технолошког развоја

Г. Награде и признања

2005-2008. Стипендиста Министарства просвете и спорта Републике Србије (Уговор бр. 357385101 од 02.02.2006.)

2010-2013. Стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (Уговор бр. 828 од 01.04.2010.)

2. БИБЛИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

2.1 М71 Докторска дисертација (1x6=6 бодова)

[1] Митић, М., **Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота базирано на машинском учењу**, Универзитет у Београду – Машински факултет, 2014.

2.2 М21, М22 и М23 научни радови у међународним часописима SCI-Web of Science® (1x8+1x5+2x3=19 бодова)

[2] Miljković, Z., Mitić, M., Lazarević, M., Babić, B., **Neural Network Reinforcement Learning for Visual Control of Robot Manipulators**, *Journal Expert Systems with Applications* (ISSN 0957-4174), Vol. 40 Issue: 5, pp. 1721-1736, Elsevier, April 2013. (Available online: 9 October 2012; DOI: 10.1016/j.eswa.2012.09.010), <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412010640> (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,854 (2012) → М21; извор KoBSON)

Овај рад, објављен у врхунском међународном часопису, цитиран је три пута: у врхунском међународном часопису (М21) са SCI листе, истакнутом међународном часопису (М22) са SCI листе и међународном часопису:

- Zhong, X., Zhong, X., Peng, X., Robust Kalman filtering cooperated elman neural network learning for vision-sensing-based robotic manipulation with global stability, *Sensors*, Vol. 13 Issue 10, pp. 13464-13486, October 2013. (Available online: <http://www.mdpi.com/1424-8220/13/10/13464>)
- Rahim, S. A., Yusof, A. M., Bräunl, T., Genetically evolved action selection mechanism in a behavior-based system for target tracking, *Neurocomputing*, Vol. 133, pp. 87-94, June 2014. (Available online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231214000575>)
- Pang, T., Ruan, X.-G., Chen, J., Ren, H.G., Robot phototaxis control based on intrinsic motivation mechanism, *Beijing Gongye Daxue Xuebao/Journal of Beijing University of Technology* (ISSN 0254-0037), Volume 40 Issue 1, pp. 32-37, January 2014. (SCOPUS)

- [3] 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* (Print ISSN 0268-3768), Vol. 66 Issues: 1-4, pp. 231-249, Springer-Verlag London Ltd., April 2013. (Online ISSN 1433-3015_Available online: 6 July 2012_First™ Articles; DOI: 10.1007/s00170-012-4321-y), <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-012-4321-y> (**Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,205 (2012) → M22; извор KoBSON**)

Овај рад, објављен у истакнутом међународном часопису, цитиран је **једном** у међународном часопису (M23) са SCI листе и **три пута** у зборницима међународних конференција (M33):

- Xing, W., Peihuang, L., Jun, Y., Xiaoming, Q., Dunbing, T., Intersection Recognition and Guide-path Selection for a Vision-based AGV in a Bidirectional Flow Network, *International Journal of Advanced Robotic Systems* (ISSN 1729-8814), Volume 11 Issue 1, Article 39 (DOI: 10.5772/58218), Published: December 2014. (Available online: http://www.intechopen.com/journals/international_journal_of_advanced_robotic_systems/intersection-recognition-and-guide-path-selection-for-a-vision-based-agv-in-a-bidirectional-flow-net)
 - Zhongming, L., Xun, W., Zhiyuan, S., A Navigation Method of Information Fusion and Mutual Aid Based on Map for Logistic AGV, In *6th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, pp. 21-24, Zhangjiajie, China, January 2014.
 - Aref, M. M., Ghabcheloo, R., Kolu, A., Hyvonen, M., Huhtala, K., Mattila, J., Position-based visual servoing for pallet picking by an articulated-frame-steering hydraulic mobile machine, In *6th IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, pp. 218-224, Manilla, November 2013.
 - Szabo, T., Vajda, T., Robot detection based on visual information, In *23rd International Conference on Computers and Education*, Sibiu, Romania, October 2013.
- [4] Mitić,M., Miljković,Z., **Neural Network Learning from Demonstration and Epipolar Geometry for Visual Control of a Nonholonomic Mobile Robot**, *Journal Soft Computing* (ISSN 1432-7643), Vol. 18 Issue: 5, pp. 1011-1025, Springer, May 2014. (Available online: 12 September 2013; DOI: 10.1007/s00500-013-1121-8), <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00500-013-1121-8> (**Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,124 (2012) → M23; извор KoBSON**)
- [5] Diryag A., Mitić,M., Miljković,Z., **Neural Networks for Prediction of Robot Failures**, *Proc.IMEchE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* (ISSN 0954-4062), Vol. 228 Issue: 8, pp. 1444-1458, Sage, United Kingdom, June 2014. (Available online_ first published on October 10, 2013 as DOI: 10.1177/0954406213507704), <http://pic.sagepub.com/content/early/2013/10/09/0954406213507704.abstract> (**Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,633 (2012) → M23; извор KoBSON**)

Овај рад, објављен у међународном часопису, цитиран је **једном** у у врхунском међународном часопису (M21) са SCI листе:

- Bin Li, Xuewen Rong, Yibin Li, An Improved Kernel Based Extreme Learning Machine for Robot Execution Failures, *Scientific World Journal / TSWJ* (ISSN 1537-744X), Vol. 2014, Article ID 906546, 7 pages (DOI:10.1155/2014/906546), 2014. (Available online: <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/906546/cta/>)

2.3 M51 Научни радови у водећим часописима националног значаја (1x2=2 бода)

- [6] 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, (SCOPUS), University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, 2011.

2.4 M33 Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини (8x1=8 бодова)

- [7] 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", 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.
- [8] 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.
- [9] Vuković, N., Miljković, Z., Mitić, M., Babić, B., Lazarević, I., **Autonomous Navigation of Automated Guided Vehicle Using Monocular Camera**, Proceedings of the 11th International Scientific Conference MMA 2012 – Advanced Production Technologies, pp. 301-304, Novi Sad, Serbia, 20-21 September, 2012.
- [10] 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.
- [11] Vuković, N., Miljković, Z., Mitić, M., Petrović, M., **Learning Motion Trajectories of Differential Drive Mobile Robot Using Gaussian Mixtures and Hidden Markov Model**, Proceedings of the 4th Serbian Congress on Theoretical and Applied Mechanics, pp. 165-170, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June, 2013.
- [12] Mitić, M., Miljković, Z., Vuković, N., Lazarević, I., **Visual Control of a Mobile Robot Using Homography and Learning from Demonstration Methodology**, Proceedings of the 4th Serbian Congress on Theoretical and Applied Mechanics, pp. 675-680, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June, 2013.
- [13] Vuković, N., Miljković, Z., Mitić, M., Petrović, M., Husen, A., **Neural Extended Kalman Filter for State Estimation of Automated Guided Vehicle in Manufacturing Environment**, Proceedings of the 35th International Conference on Production Engineering, pp. 331-335, Kopaonik, Serbia, 2013.
- [14] Mitić, M., Miljković, Z., Vuković, N., Babić, B., Diryag, A., **Prediction of Robot Execution Failures Using Neural Networks**, Proceedings of the 35th International Conference on Production Engineering, pp. 335-339, Kopaonik, Serbia, 2013.

2.5 M63 Радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини (3x0,5=1,5 бодова)

- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.

2.6 Научно-истраживачки, стручни и образовно-развојни пројекти

- [18] 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, 2011–2015.
- [19] 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 је финансирало Министарство за науку и технолошки развој Владе Републике Србије: TP-14031, Београд, 2008–2010.

3. НАУЧНО-ИСТРАЖИВАЧКИ РЕЗУЛТАТИ И ЊИХОВА АНАЛИЗА

Током вишегодишњег научноистраживачког рада, **др Марко М. Митић** остварио је запажене резултате у следећим областима:

- Развој оригиналних алгоритама емпиријског управљања на бази машинског учења ојачавањем, машинског учења демонстрацијом и *computational intelligence* техника вештачке интелигенције;
- Примена интелигентних мобилних робота за унутрашњи транспорт сировина, полуфабриката, материјала и готових делова у производном технолошком окружењу;
- Развој и примена оригиналних метода управљања различитих структура роботских система на основу информација добијених од камере.

Научноистраживачки резултати који су остварени у поменутих областима, кроз сталан рад на пројектима технолошког развоја, презентирани су научној и стручној јавности објављивањем радова у међународним часописима који су реферисани у оквиру ICI-JCR-SCI листа часописа, у зборницима радова престижних међународних и националних конференција, верификованим техничким и развојним решењима, а посебно у докторској дисертацији.

Рад у врхунском часопису међународног значаја (M21)

2. Miljković,Z., Mitić,M., Lazarević,M., Babić,B., **Neural Network Reinforcement Learning for Visual Control of Robot Manipulators**, *Journal Expert Systems with Applications* (ISSN 0957-4174), Vol. 40 Issue: 5, pp. 1721-1736, Elsevier, April 2013. (Available online: 9 October 2012; DOI: 10.1016/j.eswa.2012.09.010), (**Science Citation Index-Web of Science®** – IF = 1,854 (2012) → **M21**; извор **KoBSON**)

Управљање роботског система на бази информација добијених од камере у реалном времену подразумева решавање различитих проблема као што су: проблем видног поља камере, постојања шума у аквизицији сигнала, погрешно оцењених параметара калибрационе матрице и прилагођавања условима нагле промене осветљења у окружењу. Како би се ови проблеми успешно превазишли, у овом раду презентирани су оригинално развијени емпиријски хибридни управљачки системи на бази машинског учења ојачавањем и управљања на основу грешке у параметрима слике. Нови интелигентни систем се састоји од две независне фазе управљања. У првој фази оријентација робота је коригована како би изабрани карактеристични објект припадао жељеној области у равни слике, док друга фаза обухвата приступање тродимензионалном објекту уз кориговање оријентације у зависности од положаја карактеристичних објеката на слици. Дефинисањем жељених области карактеристичних објеката у равни слике омогућава се кретање робота оптималном путањом. Емпиријски хибридни управљачки систем имплементиран је на роботу вертикалне зглобне конфигурације *NeuroArm Manipulator System* (са компатибилном камером *CMUCam3*) у непознатом технолошком окружењу. Анализа перформанси робота у реалном времену указује да интелигентни подсистем управљања успешно врши корекцију положаја када се карактеристични објект налази изван жељене области, као и да постоји минимална разлика између жељеног и крајњег положаја роботског система.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

3. 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* (Print ISSN 0268-3768), Vol. 66 Issues: 1-4, pp. 231-249, Springer-Verlag London Ltd., April 2013. (ISSN 1433-3015 Online First™ Articles - 6 July 2012; DOI: 10.1007/s00170-012-4321-y), (**Science Citation Index-Web of Science®** – IF = 1,103 (2011) → **M22**; извор **KoBSON**)

У раду је приказан оригинални хибридни управљачки алгоритам за управљање и оцену положаја мобилног робота на бази информација добијених од калибрисане камере. На основу критичке анализе релевантних извора закључено је да камера, као спољашњи сензор, није довољно примењена у постојећим системима унутрашњег транспорта на бази аутоматски вођених робоколица-мобилних робота. Да би се овај недостатак отклонио, развијен је нови хибридни управљачки алгоритам, у коме је камера примењена за визуелно навођење према жељеном положају (дефинисан циљном сликом) ради преузимања радног предмета, као и за оцењивање положаја мобилног робота на основу неуронског линеаризованог Калмановог филтра. Нови хибридни управљачки алгоритам сачињавају две основне управљачке петље: управљање на основу положаја и управљање на основу информација од камере. Овакав приступ раздваја почетни транспортни задатак на два дела: кретање од почетног положаја до циљног положаја (глобално) и кретање од циљног положаја до машине алатке/међускладишта (локално). На овај начин је елиминисана потреба за вештачким карактеристичним објектима у технолошком окружењу. Нови хибридни управљачки алгоритам је тестиран током извођења експерименталног процеса коришћењем *Khepera II* мобилног робота, хватача *Khe Gripper* и *WEB* камере у лабораторијском моделу технолошког окружења. За потребе спровођења експеримента развијен је код сопственог развоја у оквиру *MATLAB®* програмског окружења. Експериментални резултати, потврђују да приказани концепт може бити успешно примењен, уз указивање на правце даљег развоја и истраживања.

Рад у међународном часопису (M23)

4. Mitić, M., Miljković, Z., **Neural Network Learning from Demonstration and Epipolar Geometry for Visual Control of a Nonholonomic Mobile Robot**, *Journal Soft Computing* (ISSN 1432-7643), Vol. 18 Issue: 5, pp. 1011-1025, Springer, May 2014. (Available online: 12 September 2013; DOI: 10.1007/s00500-013-1121-8), (**Science Citation Index-Web of Science**[®] – IF = 1,124 (2012) → **M23**; извор **KoBSON**)

У оквиру овог рада представљено је решење проблема визуелног управљања мобилног робота услед појава промене амбијенталног осветљења и дегенерације (осциловања) вредности епипола у равни слике. Развијен је хибридни управљачки подсистем на бази машинског учења демонстрацијом и вештачких неуронских мрежа, у циљу корекције оријентације приликом кретања мобилног робота. Нови емпиријски алгоритам управљања чине две независне фазе: *offline* која обухвата обучавање различитих архитектура вештачких неуронских мрежа помоћу 6 најчешће коришћених алгоритама учења, а затим и *online* која се односи на задатак визуелног навођења мобилног робота у лабораторијском моделу технолошког окружења. Вештачка неуронска мрежа, обучена алгоритмом *Бајесове регуларизације*, се показала оптималном у погледу генерисања управљачких команди за кориговање позиције карактеристичног објекта у равни слике након промене оријентације мобилног робота. Експериментални систем за верификацију чине *Kheperall* робот (са хватачем *KheGrip*) и компатибилна камера *CMUcam VISION TURRET-KheCMUCam*. Резултати су потврдили робустност развијеног система управљања при извршавању технолошког задатка успешног приступања радном предмету.

Рад у међународном часопису (M23)

5. Diryag A., Mitić, M., Miljković, Z., **Neural Networks for Prediction of Robot Failures**, *Proc IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* (ISSN 0954-4062), Vol. 228 Issue: 8, pp. 1444-1458, Sage, United Kingdom, June 2014. (Available online_ first published on October 10, 2013; DOI: 10.1177/0954406213507704), (**Science Citation Index-Web of Science**[®] – IF = 0,633 (2012) → **M23**; извор **KoBSON**)

У складу са изразито динамичким карактером производних погона, неопходно је да индустријски робот има способност разумевања и препознавања стања окружења, као и могућност да на основу тако одређеног стања самостално донесе одлуку о будућим акцијама. Како би била реализована неометана интеракција робота и технолошког окружења, роботски систем мора да поседује подсистем за предикцију нежељног понашања који би омогућио елиминацију постојећих грешака и поремећаја, односно наставак функционисања у номиналном режиму рада. Овај научни рад третира неколико актуелних истраживачких тема које се односе на: имплементацију *computational intelligence* техника вештачке интелигенције у циљу детекције и предвиђања неправилног рада роботских система, интелигентно управљање, као и навигацију и праћење жељене трајекторије мобилног робота на бази система вештачких неуронских мрежа. Експериментални резултати на мобилном роботу *Kheperall* су показали да развијени алгоритам управљања предвиђа неправилан рад и врши кориговање нежељеног понашања мобилног робота у преко 95% случајева.

Рад у водећем часопису националног значаја (M51)

6. 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, (SCOPUS), University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, 2011.

Способност адаптивног понашања при извршавању постављеног задатка у реалним, непредвидивим условима, један је од кључних задатака сваког интелигентног роботског система. У функцији решавања овог проблема, у овом раду се предлаже приступ базиран на

учењу, и то комбиновањем емпиријске управљачке стратегије, машинског учења ојачавањем и аксиоматске теорије пројектовања. Предложени концепт користи најбоље особине поменутих теоријских приступа у циљу остваривања оптималне одлуке мобилног робота за тренутно стање система. Емпиријска управљачка теорија се, у овом раду, *a priori* користи при утврђивању идејног решења за решавање проблема навигације мобилног робота. Машинско учење ојачавањем реализује механизме који меморишу и ажурирају одговоре окружења, а у комбинацији са емпиријском управљачком теоријом одређује најбољу могућу одлуку у складу са тренутним околностима. Аксиоматска теорија пројектовања се користи при дефинисању управљачког проблема, као и при успостављању концепцијског решења за дати задатак, са аспекта примене поменутих приступа. Део предложеног алгорита емпиријског управљања реализован је коришћењем *LEGO Mindstorms NXT* мобилног робота, третирајући проблем навигације у непознатом окружењу. Остварени експериментални резултати наговештавају добру перспективу за реализацију ефикасног управљања базираног на искуству, чији даљи развој може да доведе до остварења аутономног понашања мобилног робота при избегавању препрека у технолошком окружењу, што је и очекивани научни циљ.

Радови саопштени на међународном скупу, штампани у целини (МЗЗ)

У току вишегодишњег научноистраживачког рада, др Марко М. Митић објавио је осам радова на конференцијама међународног значаја. Ови радови се могу класификовати у следеће групе:

- 1) **Развој емпиријских управљачких система мобилних робота у циљу решавања проблема навигације, локализације и избегавања препрека у домену унутрашњег транспорта материјала у оквиру интелигентних технолошких система**
7. 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", 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.
8. 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.
9. Vuković, N., Miljković, Z., Mitić, M., Petrović, M., **Learning Motion Trajectories of Differential Drive Mobile Robot Using Gaussian Mixtures and Hidden Markov Model**, Proceedings of the 4th Serbian Congress on Theoretical and Applied Mechanics, pp. 165-170, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June, 2013.
10. Mitić, M., Miljković, Z., Vuković, N., Babić, B., Diryag, A., **Prediction of Robot Execution Failures Using Neural Networks**, Proceedings of the 35th International Conference on Production Engineering, pp. 335-339, Kopaonik, Serbia, 2013.

У овим радовима се анализира примена интелигентних мобилних робота за обављање унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова у технолошком окружењу. У радовима бр.7 и бр. 8 приказани су резултати развоја алгорита машинског учења ојачавањем (Q-учења и неуронског Q-учења) у домену решавања проблема избегавања препрека и локализације мобилног робота у симулационом моделу технолошког окружења. У раду бр. 9 је приказан нови приступ у обучавању мобилних робота у циљу учења и репродукције жељеног понашања или остваривања жељеног кретања (навигације мобилног робота). Наиме, примењен је концепт машинског учења на основу демонстрација, у коме учитељ (демонстратор-оператер) покаже основне карактеристике жељеног понашања или кретања, а одговарајући модел учења извршава оптимизацију параметара чиме се омогућава учење и накнадна репродукција покрета мобилног робота. Симулациони резултати у *MATLAB*[®]

програмском окружењу и експериментални rezultati ostvareni korišћењем мобилног робота *Kheperall*, показују да приказани концепт учења жељеног понашања, као и жељеног кретања, могу бити примењени у циљу машинског учења мобилног робота. Рад бр. 10 обухвата развој и имплементацију система вештачких неуронских мрежа у домену предикције неправилног рада робота. Два типа неуронских мрежа и 24 архитектуре су развијене у *MATLAB*[®] програмском пакету. Такође, нова метода предикције је верификована на мобилном роботу *Kheperall* у домену праћења жељене трајекторије у случају отказа актуатора или дејства нежељених поремећаја. Експериментални резултати потврђују робустност развијеног оригиналног алгоритма и указују на супериорност новог приступа у поређењу са другим техникама вештачке интелигенције.

2) Развој оригиналних алгоритама управљања роботских система на бази информација добијених од камере

11. Vuković,N., Miljković,Z., Mitić,M., Babić,B., Lazarević,I., **Autonomous Navigation of Automated Guided Vehicle Using Monocular Camera**, Proceedings of the 11th International Scientific Conference MMA 2012 – Advanced Production Technologies, pp. 301-304, Novi Sad, Serbia, 20-21 September, 2012.
12. 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.
13. Mitić,M., Miljković,Z., Vuković,N., Lazarević,I., **Visual Control of a Mobile Robot Using Homography and Learning from Demonstration Methodology**, Proceedings of the 4th Serbian Congress on Theoretical and Applied Mechanics, pp. 675-680, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June, 2013.
14. Vuković,N., Miljković,Z., Mitić,M., Petrović,M., Husen,A., **Neural Extended Kalman Filter for State Estimation of Automated Guided Vehicle in Manufacturing Environment**, Proceedings of the 35th International Conference on Production Engineering, pp. 331-335, Kopaonik, Serbia, 2013.

У раду бр. 11 су приказани резултати развоја оригиналног хибридног управљачког алгоритма за управљање и оцењивање положаја мобилног робота *Kheperall* и карактеристичних објеката у технолошком окружењу применом система препознавања на бази калибрисане камере. У раду бр. 12 анализирана је робустност управљачког система на основу информација добијених од камере на непредвидиве поремећаје у статичком окружењу као што су оцена растојања до изабраног објекта и/или изненадна промена осветљења. Експериментални резултати на антропоморфном роботу *NeuroArm Manipulator System* (уз коришћење камере *CMUCam 3*) указују на неопходност имплементације емпиријског подсистема на бази машинског учења у циљу успешне манипулације радним предметима у оквиру технолошких система за производњу делова од лима. У раду бр. 13 је приказан оригинални приступ за визуелно управљање мобилног робота применом хибридног управљачког алгоритма. Праћење трајекторије жељеног облика је од посебне важности са аспекта успешног остваривања роботизованог унутрашњег транспорта материјала у технолошком окружењу. У реалним условима управљања, релативно је честа појава да се одређена машина алатка налази изван видног поља камере робота, или да се мобилни робот налази на удаљености од машине на којој није могуће извршити визуелно навођење (услед значајних грешака у положају карактеристичних објеката, погрешно усвојеног временског трајања сваке од фаза управљања, итд.). У циљу одређивања оптималне трајекторије робота у окружењу развијен је одговарајући модел на бази вештачких неуронских мрежа. Нови интелигентни систем управљања, на бази хомографије и система вештачких неуронских мрежа које су имплементирани у оквиру модула машинског учења демонстрацијом, тестиран је у лабораторијском моделу технолошког окружења, а експериментални резултати су доказали предности емпиријског приступа пројектовању управљачких система. У раду бр. 14 се анализира и решава проблем симултаног оцењивања положаја мобилног робота путем повратних информација добијених од калибрисане камере за време извршавања транспортног задатка у оквиру система унутрашњег транспорта сировина, материјала и готових делова.

Развијени алгоритам оцењивања положаја базиран је на интеграцији вештачке неуронске мреже са линеаризованим Калмановим филтром. Експериментални резултати остварени на мобилном роботу *Kheperall* потврђују адекватну примену развијеног оригиналног алгоритма симултаног оцењивања положаја мобилног робота и карактеристичних објеката у технолошком окружењу, и то на бази интеграције линеаризованог Калмановог филтра и вештачких неуронских мрежа.

Радови саопштени на скупу националног значаја, штампани у целини (М63)

15. 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.
16. 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 ТР-35004**, 38. ЈУПИТЕР Конференција, Уводни рад, Зборник радова – CD, стр. УР.67-УР.75, Београд, 15-16. мај, 2012.
17. 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.

У раду бр. 15 представљени су резултати оригиналног алгоритма емпиријског управљања, остварени коришћењем мобилног робота *LEGO Mindstorms NXT* у домену карактеристичних проблема навигације и избегавања препрека у непознатом технолошком окружењу. У раду бр.16 дат је приказ пројектних активности у оквиру актуелног пројекта технолошког развоја (ТР35004) у току прве истраживачке године. У последњем раду (бр. 17) дат је детаљан преглед стања у области емпиријског управљања роботских система различитих структура.

Докторска дисертација (М71)

1. Митић, М., **Емпиријско управљање интелигентног мобилног робота базирано на машинском учењу**, Универзитет у Београду – Машински факултет, 2014.

У докторској дисертацији су примењене савремене научноистраживачке методе приликом теоријског и експерименталног истраживања у домену емпиријског управљања интелигентних роботских система. Развијени оригинални хибридни управљачки алгоритми интелигентног мобилног робота и робота вертикалне зглобне конфигурације базирани су, у основи, на познатим алгоритмима машинског учења и визуелног управљања као што су: *Q*-учење, *SARSA* алгоритам, неуронски алгоритам *Q*-учења, неуронски *SARSA* алгоритам, метода управљања на основу грешке у параметрима слике (енгл. *Image-based visual servoing*), метода управљања на основу издвојених карактеристика објеката са слике које су коришћене за естимацију положаја карактеристичног објекта у односу на координатни систем камере (енгл. *Position-based visual servoing*), метода управљања на основу епиполарне геометрије (енгл. *Epipolar visual control*), метода управљања на основу хомографије (енгл. *Homography visual control*) и метахеуристички алгоритам оптимизације колонијом свитаца (енгл. *Firefly algorithm*). Предности наведених девет алгоритама и метода искоришћене су за генерисање нових приступа управљању интелигентних робота у циљу постизања аутономног понашања система у домену изабраног комплексног технолошког задатка. Адекватност примењених метода оправдана је потврдом високе тачности добијених резултата и њиховим поређењем са резултатима наведеним у референтној литератури.

Остварени научни доприноси, настали као резултат истраживања у оквиру предметне докторске дисертације, огледају се кроз развој и експерименталну верификацију следећих **пет оригиналних алгоритама управљања** интелигентних робота:

- *Метода емпиријског управљања мобилног робота* (потпоглавље 3.6). Нова метода базирана на машинском учењу ојачавањем тестирана је кроз развој симулације у *MATLAB*[®] софтверском пакету (симулација се базира на кодовима сопственог развоја). Верификација развијеног система емпиријског управљања извршена је у лабораторијском моделу технолошког окружења применом *LEGO Mindstorms NXT* мобилног робота у домену задатака навигације, локализације и избегавања препрека;
- *Хибридни алгоритам управљања мобилног робота* се састоји од две независне управљачке петље (потпоглавље 4.5). Развојем две фазе управљања транспортни задатак је раздвојен на два дела: кретање од почетног положаја до положаја на значајној удаљености од машине алатке (глобално управљање) и кретање од овог положаја до машине алатке/међускадишта (локално управљање). Оригинални управљачки систем на бази еиполарне геометрије имплементиран је на мобилном роботу *Kheperall* (са додатном опремом: хватачем *KheGrip*, и *WEB* камером *Prestigio PWC 2*) у лабораторијском моделу технолошког окружења;
- *Хибридни управљачки систем робота вертикалне зглобне конфигурације NeuroArm Manipulator System* заснован је на машинском учењу ојачавањем и управљању на бази грешке у параметрима слике (поглавље 5). Оригинални интелигентни систем се састоји од две независне фазе управљања. У првој фази оријентација робота вертикалне зглобне конфигурације је коригована како би изабрани карактеристични објекат припадао жељеној области у равни слике, док друга фаза обухвата приступање тродимензионалном објекту уз кориговање оријентације у зависности од положаја карактеристичних објеката на слици;
- *Емпиријски управљачки систем мобилног робота на бази машинског учења демонстрацијом и еиполарне геометрије* (поглавље 6). Аналогно решењу представљеном у поглављу 5, нови емпиријски алгоритам управљања обухвата две независне фазе: *offline* (односи се на обучавање укупно 18 различитих архитектура вештачких неуронских мрежа коришћењем 6 најзаступљенијих алгоритама учења) и *online* која се односи на задатак визуелног навођења мобилног робота у лабораторијском моделу технолошког окружења. Експеримент обухвата имплементацију развијеног емпиријског управљачког система на мобилном роботу *Kheperall* (са камером *KheCMUCam* и хватачем *KheGrip*) у домену визуелног управљања у оквиру технолошког задатка приступања радном предмету;
- *Хибридни управљачки систем мобилног робота на бази алгоритма оптимизације колонијом свитаца и хомографије* (поглавље 7). У овом делу докторске дисертације, уводе се два независна проблема управљања у домену унутрашњег транспорта материјала: (i) репродукција жељене трајекторије до положаја дефинисаног у равни слике, и (ii) визуелно управљање на бази хомографије и машинског учења демонстрацијом. *Метахеуристички алгоритам оптимизације колонијом свитаца* имплементиран је у оквиру машинског учења демонстрацијом у циљу решавања поменутих проблема.

Резултати остварени током спроведених истраживања у оквиру ове докторске дисертације представљају основу на којој се може извршити напредно увођење и примена интелигентних мобилних робота за потребе обављања унутрашњег транспорта у производном технолошком окружењу 21. века.

4. ВРЕДНОВАЊЕ И КВАНТИТАТИВНО ИСКАЗИВАЊЕ РЕЗУЛТАТА КАНДИДАТА ПРЕМА ПРАВИЛНИКУ

Током досадашњег научноистраживачког рада др **Марко М. Митић** остварио је следеће резултате:

Група	Ознака врсте резултата - категорија рада	Број резултата	Вредност резултата	Укупно бодова
1.1	(M21) Рад у врхунском међународном часопису	1	8	8
1.2	(M22) Рад у истакнутом међународном часопису	1	5	5
1.3	(M23) Рад у међународном часопису	2	3	6
Укупан број бодова у категорији M21-24:				19
1.4	(M33) Рад саопштен на скупу међународног значаја, штампан у целини	8	1	8
Укупан број бодова у категорији M10, M21-24, M31-33, M41-42				27
1.5	(M51) Рад у водећем часопису националног значаја	1	2	2
1.7	(M63) Рад саопштен на скупу националног значаја, штампан у целини	3	0,5	1,5
1.8	(M71) Одбрањена докторска дисертација	1	6	6
Укупан број бодова у категоријама M51-53, M60, M70, M80:				9,5
Укупан број бодова кандидата:				36,5

5. ЗАКЉУЧАК

Др Марко М. Митић је у досадашњем научноистраживачком раду, као аутор или коаутор, објавио **17** радова, од којих су: **један** рад у врхунском међународном часопису категорије M21, **један** рад у истакнутом међународном часопису категорије M22, **два** рада у међународним часописима категорије M23, **осам** радова у зборницима са међународних конференција категорије M33, штампаних у целини, **један** рад у водећем часопису националног значаја категорије M51, **три** рада у зборницима конференција националног значаја категорије M63, штампаних у целини и има одбрањену **једну** докторску дисертацију (M71).

Анализом и вредновањем постигнутих резултата кандидата за избор у звање **научни сарадник** Комисија је констатовала следеће квантитативне показатеље:

Укупно остварених бодова: **36,5 (Услов је >16)**

Од којих су:

$M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M51=0+19+0+0+8+0+0+0=27$ (Услов је >9)

$M21+M22+M23+M24=8+5+6+0=19$ (Услов је >4)

Дакле, на основу увида у приложени материјал, анализе и вредновања квалитета објављених радова, Комисија за избор **др Марка М. Митића, дипл.маш.инж.** са задовољством констатује да кандидат испуњава све предвиђене услове за избор у звање **научни сарадник**, а који су дефинисани Законом о научноистраживачкој делатности, Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача и Статутом Машинског факултета, те **предлаже Изборном већу у оквиру Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду да прихвати овај Извештај и да утврди предлог за избор у научно звање НАУЧНИ САРАДНИК.**

Београд, 30.04.2014. године

Чланови Комисије:

Др Зоран Миљковић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Бојан Бабић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Живана Јаковљевић, доцент
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Радиша Јовановић, доцент
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Жарко Ћојбашић, редовни професор
Универзитет у Нишу - Машински факултет