

## **ИЗБОРНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат Комисије о пријављеним кандидатима на конкурс за избор једног сарадника у звању асистента на одређено време од 3 године са пуним радним временом за ужу научну област Производно машинство

На основу одлуке Изборног већа Машинског факултета број 1043/3 од 17.06.2021. године, а по објављеном конкурс за избор једног асистента на одређено време од 3 године са пуним радним временом за ужу научну област Производно машинство, именовани смо за чланове Комисије за подношење реферата о пријављеним кандидатима.

На конкурс који је објављен у листу Послови број 939 од 23.06.2021. године пријавио се један кандидат, и то Александар В. Јокић, маг. инж. маш., истраживач-сарадник Универзитета у Београду – Машинског факултета.

На основу прегледа достављене документације подносимо следећи

## **РЕФЕРАТ**

### **А. Биографски подаци**

Александар (Владан) Јокић, маг. инж. маш., рођен је 16. октобра 1993. године у Београду, Република Србија. Основну школу „Ђуро Стругар“ и средњу школу „Политехника – школа за нове технологије“ завршио је у Београду.

На Машински факултет Универзитета у Београду уписао се школске 2012/2013. године. Основне академске студије завршио је 2015. године, одбранивши завршни рад (BSc) са оценом 10 (десет) из предмета CAD/CAM системи и просечном оценом током Основних академских студија 8.38 (осам и 38/100). Школске 2015/2016. године уписао је Мастер академске студије на Катедри за производно машинство, а исте завршио 22. септембра 2017. године са просечном оценом током Мастер академских студија 9.30 (девет и 30/100), одбранивши мастер рад (MSc) на тему „Визуелно управљање интелигентног мобилног робота у функцији терминирања унутрашњег транспорта“ из предмета Интелигентни технолошки системи, под менторством проф. др Зорана Миљковића, и то са оценом 10 (десет). Током студија је, за постигнут успех, два пута похваљен од стране Машинског факултета, поводом Дана факултета.

Након дипломирања, школске 2017/2018. године, уписао је Докторске академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду (број индекса Д31/17). Током првог семестра Докторских академских студија утврђени су правци усавршавања и научно-истраживачког рада на Катедри за производно машинство, да би одлуком број 183/1 од 24.01.2018. године био озваничен и Програм усавршавања, а који се од 28. јануара 2021. године, након одлуке Веће научних области техничких наука број 61206-198/2-21 о прихватању теме докторске дисертације Александра В. Јокића под називом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ реализује под руководством именованог ментора доц. др Милице М.

Петровић. Кандидат је положио све испите на Докторским академским студијама Машинског факултета у Београду и тренутно је студент VI семестра.

У звање истраживач-приправник изабран је 22. фебруара 2018. године, а од 1. маја 2018. године остварује право на стипендију за Докторске академске студије и тиме стиче статус Стипендисте Министарства просвете, науке и технолошког развоја, број уговора 451-03-1709/1709/2018-14/ев. број 2316. Од 6. маја 2019. године, запослен је на Машинском факултету у Београду, као истраживач-приправник, и то на пројекту технолошког развоја под називом „*Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима*“, који је финансирао Министарство просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије (ев. бр. ТР-35004, руководилац пројекта проф. др Бојан Бабић), закључно са 31. децембром 2019. године. Кандидат је, од 1. јануара 2020. године, запослен и даље на Машинском факултету у Београду, у својству истраживача-приправника (односно од 12. маја 2021. године у својству истраживача-сарадника), и то на Катедри за производно машинство, у оквиру пројекта под називом „*Интегрисана истраживања у области макро, микро и нано машинског инжењерства*“, односно потпројекта „*Дубоко машинско учење интелигентних технолошких система у производном машинству*“, а који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије, према уговору о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2020. (ев. бр. 451-03-68/2020-14/200105) и 2021. години (ев. бр. 451-03-9/2021-14/200105) руководилац пројекта проф. др Радивоје Митровић. Такође, кандидат је од 1. септембра 2020. године ангажован и на пројекту под називом „*Deep Machine Learning and Swarm Intelligence-based Optimization Algorithms for Control and Scheduling of Cyber-Physical Systems in Industry 4.0*“ (акроним - MISSION4.0, ев. бр. 6523109, руководилац пројекта проф. др Зоран Миљковић), који финансира Фонд за науку Републике Србије у оквиру позива „Програм за развој пројеката из области вештачке интелигенције“. На основу одлуке број 256/6 Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета кандидат је 12. маја 2021. године изабран у истраживачко звање истраживач-сарадник.

Поседује активно знање енглеског језика. У свакодневном раду напредно користи значај број програмских језика и софтверских пакета: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, Visio), AutoCAD, SolidWorks, MATLAB, програмски језик C, CoppeliaSim/Vrep, AnyLogic, CorelDRAW.

### **А.1 Учешће на пројектима**

У досадашњем раду учествовао је на три домаћа научно-истраживачка пројекта у оквиру Катедре за производно машинство, и то:

- 1) Бабић, Б., Миљковић, З., Петровић М., **Јокић А.**, и остали, „*Иновациони 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: ТР-35004, руководилац пројекта проф. др Бојан Бабић, Београд, 2011–2020.
- 2) Бабић, Б., Миљковић, З., Петровић М., **Јокић А.**, и остали, „*Интегрисана истраживања у области макро, микро и нано машинског инжењерства – Дубоко машинско учење интелигентних технолошких система у производном машинству*“, који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије према уговору о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2020. (број уговора 451-03-68/2020-14/200105) и 2021. години (број уговора 451-03-9/2021-14/200105), руководилац пројекта проф. др Радивоје Митровић.
- 3) Миљковић, З., Бабић, Б., Петровић М., **Јокић А.**, и остали, „*Deep Machine Learning and Swarm Intelligence-based Optimization Algorithms for Control and Scheduling of Cyber-Physical Systems in Industry 4.0*“ (акроним - MISSION4.0), руководилац пројекта проф. др Зоран Миљковић, Пројекат финансиран од стране Фонда за науку Републике Србије у оквиру позива „Програм за развој пројеката из области вештачке интелигенције“, ев. бр. 6523109, Београд, 2020–2022.

## Б. Дисертације

Веће научних области техничких наука је, на електронској седници одржаној 28. јануара 2021. године, донело одлуку 02 број: 61206-198/2-21 о прихватању теме докторске дисертације кандидата Александра Јокића под називом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ и о именовану доц. др Милице М. Петровић за ментора.

## В. Наставна активност

### В.1 Педагошко искуство

Од самог почетка Докторских академских студија, почевши од јесењег семестра школске 2017/2018. године, докторанд Александар В. Јокић, активно је укључен у наставни процес Катедре за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат реализује све видове вежби (аудиторне вежбе, лабораторијске вежбе, преглед самосталних задатака, преглед пројеката) на следећим наставним предметима Катедре:

2017-... Компјутерска симулација и вештачка интелигенција (ОАС),  
Завршни предмет – Компјутерска симулација и вештачка интелигенција (ОАС),  
Методе одлучивања (МАС) и  
Интелигентни технолошки системи (МАС).

У школској 2019/2020. години кандидат учествује, као сарадник у настави на енглеском језику, у наставном процесу следећих предмета Катедре за производно машинство:

Decision-making methods (МАС) и  
Artificial Intelligence & Machine Learning (ДАС).

Такође, учествује у извођењу наставе у својству сарадника на модулу Индустрија 4.0, на следећим предметима:

2020-... Роботика и вештачка интелигенција (МАС) и  
Машинско учење интелигентних роботских система (МАС).

Активно учествује у развоју вежби на поменутиим предметима у оквиру Лабораторије за индустријску роботiku и вештачку интелигенцију, а посебно у развоју и имплементацији следеће лабораторијске опреме која се комплексно користи и у настави:

- Развој управљачког система за интелигентне мобилне роботе конфигуриране помоћу сета *Lego Mindstorms EV3*,
- Развој система за стерео машинско гледање на бази *Basler acA1920-25uc* и *Basler Dart daA1600-60uc* индустријских камера,
- Развој интелигентног мобилног робота RAICO (енгл. **R**obot with **A**rtificial **I**ntelligence based **C**Ognition),
- Развој система за стерео визуелно управљање и машинско учење интелигентног мобилног робота DOMINO (енгл. **D**eep learning based **O**mnidirectional **M**obile robot with **I**ntelligent **c**Ontrol).

## Г. Библиографија научних и стручних радова

Истраживачка област Александра Јокића обухвата интелигентне технолошке системе, роботiku, визуелно управљање роботских система, дубоко машинско учење, биолошки инспирисане технике вештачке интелигенције и вишекритеријумску оптимизацију. На основу резултата свог научно-истраживачког рада, као аутор или коаутор, објавио је дванаест научних радова пред широм научном и стручном јавношћу и верификовао је два техничка решења. Објавио је једно поглавље у истакнутој

монографији међународног значаја категорије M11 и два научна рада у тематском зборнику водећег међународног значаја категорије M13. У оквиру категорије M20, објавио је један рад у међународном часопису изузетних вредности, SCI-Web of Science® (M21a). Имао је једно предавање по позиву на међународном скупу, штампано у целини (M31) и пет научних радова саопштених на међународним конференцијама категорије M33. У водећем часопису националног значаја, категорије M51, објавио је један научни рад. На скуповима националног значаја категорије M63 објавио је један научни рад.

## Г1.1 Категорија M10

### Г1.1.1 Монографска студија/поглавље у књизи M11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја (M13)

- [1] Petrović, M., Jokić, A., Kulesza, Z., Miljković, Z., *Deep learning of mobile service robots*, In: Book Service robots – Advances in Research and Applications, ISBN 978-1-53619-573-6 (Hardcover), 978-1-53619-643-6 (eBook), Nova Science Publishers, New York, <https://novapublishers.com/shop/service-robots-advances-in-research-and-applications/>, pp. 77-97, 2021.
- [2] Jokić, A., Petrović, M., Zbigniew, K., Miljković, Z., *Visual Deep Learning-based Mobile Robot Control: A Novel Weighted Fitness Function-based Image Registration Model*, In: Karabegović I. (eds) New Technologies, Development and Application IV (NT 2021). Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 233. Springer, Cham, ISBN 978-3-030-75274-3, pp. 744-752, 2021, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0\\_82](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_82).
- [3] Đokić, L., Jokić, A., Petrović, M., Miljković, Z., *Design and development of a holonomic mobile robot for material handling and transportation tasks*, In: Karabegović I. (eds) New Technologies, Development and Application IV (NT 2021). Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 233. Springer, Cham, ISBN 978-3-030-75274-3, pp. 709-716, 2021, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0\\_78](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_78).

## Г1.2 Категорија M20

### Г1.2.1 Рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a)

- [4] Petrović, M., Miljković, Z., Jokić, A., *A novel methodology for optimal single mobile robot scheduling using whale optimization algorithm*, Applied Soft Computing, 81 (2019), 105520, DOI: 10.1016/j.asoc.2019.105520 (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 5.472 (2019), 9/109; извор KoBSON)

## Г1.3 Категорија M30

### Г1.3.1 Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (M31)

- [5] Petrović, M., Jokić, A., Miljković, Z. *Single mobile robot scheduling: a mathematical modeling of the problem with real-world implementation*, Proceedings of the 13th International Scientific Conference MMA 2018 - Flexible Technologies, ISBN 978-86-6022-094-5, pp. 175-178, Novi Sad, Serbia, 2018.

### Г1.3.2 Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

- [6] Đokić, L., Jokić, A., Petrović, M., Miljković, Z., *Biologically Inspired Optimization Methods for Image Registration in Visual Servoing of a Mobile Robot*, 7th International Conference on Electrical, Electronics and Computing Engineering (IcETRAN 2020), ISBN 978-86-7466-852-8, pp. 715-720, Belgrade, Serbia, 2020.
- [7] Petrović, M., Mystkowski, A., Jokić, A., Đokić, L., Miljković, Z., *Deep Learning-based Algorithm for Mobile Robot Control in Textureless Environment*, 2020 15th International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM2020), IEEE Xplore, ISBN 978-1-7281-6957-6, eISBN 978-1-7281-6956-

9, DOI: 10.1109/MSM49833.2020.9201666, pp. 1-4, Bialystok, Poland, 2020, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9201666>.

- [8] Đokić, L., Jokić, A., Petrović, M., Miljković, Z., *Stereo vision-based algorithm for control of nonholonomic mobile robot*, Proceedings of the Third International Student Scientific Conference “Multidisciplinary approach to contemporary research”, Central Institute for Conservation, ISBN 978-86-6179-071-3, pp. 69-82, Belgrade, Serbia, 2019.
- [9] Jokić, A., Petrović, M., Miljković, Z., *An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm for Scheduling of Single Mobile Robot*, Proceedings of the Second International Student Scientific Conference “Multidisciplinary approach to contemporary research”, Central Institute for Conservation, ISBN 978-86-6179-062-1, pp. 46-55, Belgrade, Serbia, 2018.
- [10] Jokić, A., Petrović, M., Miljković, Z., *Implementation of Image-based visual servoing for nonholonomic mobile robot control*, Proceedings of the First International Student Scientific Conference “Multidisciplinary approach to contemporary research”, Central Institute for Conservation, ISBN 978-86-6179-056-0, pp. 223-235, Belgrade, Serbia, 2017.

#### Г1.4 Категорија М50

##### Г1.4.1 Рад у врхунском часопису националног значаја (М51)

- [11] Јокић, А., Петровић, М., Миљковић, З., *Методe визуелног управљања роботских система – преглед стања у области истраживања*, Часопис ТЕХНИКА, 67 (6) (2018), стр. 801-816, ISSN 0040-2176, eISSN 256-3086.

#### Г1.5 Категорија М60

##### Г1.5.1 Радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини (М63)

- [12] Јокић, А., Петровић, М., Миљковић, З., Бабић, Б. *Метахеуристички алгоритми оптимизације у терминирању роботизованог унутрашњег транспорта материјала*, 41. ЈУПИТЕР Конференција, 37. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова – CD, стр. 3.14-3.22, Београд, Србија, 2018.

#### Г1.6 Категорија М80

##### Г1.6.1 Ново техничко решење (М85)

- 1) Јокић, А., Петровић, М., Миљковић, З., Бабић, Б., *Стереo визуелни систем перцепције мобилног робота базиран на дубоком машинском учењу*, (новом методом предложен је систем перцепције базиран на посебној конволуционој неуронској мрежи (CNN) која интегрише *MobileNet* архитектуру и SSD моделе, којом се решава проблем перцепције мобилних робота на бази информација добијених од стереo визуелног система, пројектованог коришћењем две паралелно постављене индустријске камере BASLER daA1600-60uc и рачунарске платформе Nvidia Jetson Nano). Ова метода развијена је у оквиру пројекта „Интегрисана истраживања у области макро, микро и нано машинског инжењерства – Дубоко машинско учење интелигентних технолошких система у производном машинству“, Министарство просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије (уговор бр. 451-03-9/2021-14/200105), као и на пројекту развоја вештачке интелигенције под називом „Deep Machine Learning and Swarm Intelligence-Based Optimization Algorithms for Control and Scheduling of Cyber-Physical Systems in Industry 4.0” (AI – MISSION4.0), евиденциони број 6523109, 2020-2022, који је финансијски подржан од стране Фонда за науку Републике Србије, 2021.
- 2) Јокић, А., Петровић, М., Миљковић, З., Бабић, Б., *Визуелно управљање мобилног робота у технолошком окружењу на бази информација добијених од камере* (нова метода се односи на решавање проблема визуелног управљања роботских система на бази грешака у параметрима слике). Ова метода је развијана у оквиру пројекта TP-35004 МПНТР Владе Републике Србије, 2018.

## Г1.7 Скуп података

- 1) **Jokić, A., Petrović, M., Miljković, Z.,** *Dataset for semantic segmentation of the laboratory model of manufacturing environment* (Version 0.1.0), [Data set], Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4138944>, 2020.

## Д. Приказ и оцена научног рада кандидата

Радови које је Кандидат објавио показују да остварени резултати припадају ужој научној области производно машинство и то пре свега развоју интелигентних технолошких система. Објављени радови су у домену биолошки инспирисане оптимизације при терминирању једног мобилног робота, дубоког машинског учења интелигентних роботских система, као и пројектовања и визуелног управљања интелигентних роботских система. Објављени научни радови ће бити представљени на следећи начин: прво ће бити анализиран рад који је објављен у међународном часопису изузетних вредности (M21a), а затим сви остали радови, и то разврстани по тематским целинама, закључно са описом техничких решења.

Остваривање поузданог, ефикасног и оптимално терминираних система за унутрашњи транспорт представља један од кључних праваца истраживања у оквиру интелигентних технолошких система. Конвенционални видови транспорта подразумевају системе базирани на тракастим транспортерима, индустријским виљушкарима или аутоматски вођеним робоколицима, док интелигентни мобилни роботи постају све заступљенији у решавању проблема интелигентног унутрашњег транспорта технолошког система. У раду Г1.2.1 [4] анализиран је проблем терминирања једног мобилног робота ради остваривања оптималних транспортних токова у оквиру интелигентног технолошког система. Алгоритам базиран на интелигенцији јата китова (енгл. *Whale Optimization Algorithm – WOA*) користи се ради решавања овог *NP-hard* недетерминистичког полиномног оптимизационог проблема. Такође, развијен је нови математички модел за моделирање проблема терминирања интелигентног мобилног робота, као и математичка формулација за израчунавање седам различитих функција циља. WOA је упоређен са пет других метахеуристичких алгоритама у оквиру три експерименталне верификације (укупно 26 *benchmark* тестова). Добијени резултати анализирани су применом Фридмановог статистичког теста (енгл. *Friedman statistical test*) ради доказивања њихове статистичке сигнификантности.

### **Радови у области биолошки инспирисане оптимизације при терминирању мобилних роботских система**

Рад Г1.2.1 [4] даје преглед стања у области истраживања проблема терминирања роботских система, уз упоредну анализу биолошки инспирисаних алгоритама оптимизације који се користе за решавање овог проблема. Пет различитих оптимизационих алгоритама, генетички алгоритми (GA), алгоритам инспирисан интелигенцијом роја честица (PSO), алгоритам инспирисан интелигенцијом роја честица интегрисан са мапама хаоса (cPSO), алгоритам симулираног жарења (SA) и алгоритам инспирисан интелигенцијом јата китова (WOA), предложени су и имплементирани у програмском пакету MATLAB. Експериментална верификација вршена је коришћењем реалних *benchmark* примера при чему резултати указују да се сви наведени алгоритми могу успешно користити за оптимизацију проблема терминирања једног мобилног робота.

У раду Г1.3.1 [5] анализира се терминирање једног мобилног робота у оквиру технолошког окружења. Главни аспект овог рада односи се на математичко моделирање проблема оптимизације помоћу три функције циља. Након оптимизације коришћењем три различита биолошки-инспирисана метахеуристичка алгоритма, извршена је имплементација на реални робот. Мобилни робот *Khepera II* коришћен је у оквиру лабораторијског технолошког окружења за тестирање предложене методологије.

Методологија за интелигентан транспорт материјала која узима у обзир проблем планирања и терминирања транспортних задатака једног мобилног робота представљена је у раду Г1.3.2 [9]. Критеријум перформансе усвојен је тако да се минимизује укупно време транспорта мобилног робота док врши транспорт сировина, полуфабриката и делова у технолошком систему. Алгоритми

оптимизације интелигенцијом роја честица (енгл. *Particle swarm optimization algorithm* – PSO) и cPSO алгоритам развијени су како би се пронашло оптимално решење проблема терминирања унутрашњег транспорта. Планови терминирања су добијени у програмском окружењу MATLAB. Експериментални резултати показују применљивост и ефикасност развијеног интелигентног приступа у реалним условима.

Анализа проблема терминирања мобилног робота у циљу проналажења оптималног начина опслуживања машина алатки у интелигентном технолошком систему приказана је у раду Г1.5.1 [12]. Да би се решио овај NP-hard оптимизациони проблем, коришћени су различити биолошки инспирисани метахеуристички алгоритми оптимизације: алгоритам инспирисан интелигенцијом роја честица - *Particle Swarm Optimization* (PSO), алгоритам инспирисан интелигенцијом јата китова – *Whale optimization algorithm* (WOA) и модификовани WOA (mWOA). Најбоље перформансе показао је алгоритам mWOA. Интелигентни технолошки систем коришћен за експерименталну верификацију предложеног алгоритма се састоји од осам машина алатки на којима се врши обрада три дела, који имају пет типова флексибилности, док се терминирани унутрашњи транспорт материјала у технолошком систему врши једним мобилним роботом.

### ***Пројектовање и визуелно управљање интелигентних роботских система***

У прегледном раду Г1.4.1 [11] приказане су методе визуелног управљања роботских система, са примарним фокусом на мобилне роботе са диференцијалним погоном. Анализиране су стандардне методе визуелног управљања базиране на (1) грешкама у параметрима слике (енгл. *Image-Based Visual Servoing* – IBVS) и (2) издвојеним карактеристикама са слике неопходним за естимацију положаја изабраног објекта (енгл. *Position-Based Visual Servoing* – PBVS) и поређене са новом методом директног визуелног управљања (енгл. *Direct Visual Servoing* – DVS). У поређењу са IBVS и PBVS методама, DVS метод се одликује вишом тачношћу, али и мањим доменом конвергенције. Из овог разлога DVS метод управљања погодан је за интеграцију у хибридне системе визуелног управљања. Такође, представљени су радови који унапређују систем визуелног управљања коришћењем стерео система (систем са две камере). Стерео систем, у поређењу са алтернативним методама, омогућава тачнију оцену удаљености карактеристичних објеката са слике, која је неопходна за задатке визуелног управљања. Предмет анализе су и радови који интегришу технике вештачке интелигенције у систем визуелног управљања. Овим техникама системи визуелног управљања добијају могућност да уче, чиме се њихов домен примене знатно проширује. На крају, напомиње се и могућност интеграције визуелне одометрије у системе визуелног управљања, што проузрокује повећање робусности читавог роботског система.

У раду Г1.1.1 [3] предложен је концепт новог холономног мобилног робота сопственог развоја названог DOMINO (енгл. **D**eep learning based **O**mnidirectional **M**obile robot with **I**ntelligent **c**ontrol). 3D модел прототипа холономног мобилног робота развијен је у CAD софтверском пакету *SolidWorks*, а пројектовани делови произведени су технологијом адитивне производње. Модуларна рачунарска платформа *Raspberri Pi 4* и микроконтролер *Arduino Mega 2560* користе се за управљање кретањем холономног мобилног робота, док су управљачке акције одређене према дефинисаном моделу кретања мобилног робота са омнидирекционим точковима. Експериментална верификација показује да је холономни мобилни робот способан да следи унапред одређену путању и истовремено успешно избегава колизију са препрекама у оквиру лабораторијског модела технолошког окружења.

Развијени систем за визуелно навођење интелигентног мобилног робота у функцији терминирања производње представљен је у раду Г1.3.2 [10]. За тестирање развијеног алгоритма је коришћен *Khepera II* мобилни робот, развијен на Техничком универзитету у Лозани. Од додатне опреме коришћена је Web камера PWC320G, роботска рука *Khepera Gripper Turret*, као и рачунар који је повезивао цео систем. Управљачки систем за навођење робота је развијен на основу IBVS алгоритма. Роботи, као механички системи, имају своје толеранције у којима могу да функционишу. Ради побољшања перформанси робота, коришћене су вештачке неуронске мреже (ВНМ). ВНМ су обучаване у софтверском пакету MATLAB, у Toolbox-у за вештачке неуронске мреже. Такође, цео управљачки систем је програмиран у MATLAB софтверском пакету. Извршена су три експеримента којима је доказана валидност развијаних система у задовољавајућим границама.

У раду Г1.3.2 [8] представљен је нови алгоритам за стерео визуелно управљање нехолономног мобилног робота. Главни управљачки алгоритам, заснован на рачунању грешке у параметрима слике,

користи се за тачно остваривање жељеног положаја мобилног робота. Да би се израчунале грешке у параметрима слике, користи се алгоритам за идентификацију карактеристичних објеката на тренутним и циљним сликама. Поређење ових алгоритама извршено је на сету слика лабораторијског модела технолошког окружења, чија је аквизиција извршена камерама Basler acA1920-25uc. На основу резултата поређења, KAZE алгоритам за идентификацију карактеристичних објеката је показао најбоље перформансе. Да би се тестирао и верификовао рад стерео визуелног управљачког система, поред симулације, извршена су и два експеримента на мобилном роботу сопственог развоја названог RAICO (енгл. **R**obot with **A**rtificial **I**ntelligence based **C**Ognition), и то у оквиру лабораторијског физичког модела технолошког окружења. Експериментални резултати показују ефикасност предложеног стерео визуелног управљачког система у остваривању жељеног положаја мобилног робота, уз минималну остварену грешку.

Регистрација слике представља технику обраде слике која је погодна за употребу у процесу визуелног управљања (енгл. *Visual Servoing*). Рад Г1.3.2 [6] предлаже употребу метода биолошки инспирисане оптимизације у визуелном управљању нехолономних мобилних роботских система. Спроведена је студија упоређивања три различите оптимизационе методе – GA, PSO и GWO. Алгоритми за оптимизацију тестирани су на 24 слике производних ентитета добијених стерео визуелним системом мобилног робота. Разматрани алгоритми су имплементирани у окружењу MATLAB, а експериментални резултати показују да за овај проблем GA и PSO алгоритми остварују боље резултате у поређењу са GWO алгоритмом.

### *Дубоко машинско учење интелигентних роботских система*

У последње две деценије, развој савремених модела вештачке интелигенције (AI) значајно је повећао употребу комерцијалних робота и робота пројектованих и развијаних за специфичне задатке. Додатни ниво интелигенције који су увели AI модели омогућио је услужним роботима коегзистенцију у различитим људским окружењима и сарадњу са крајњим корисницима. Једна од најперспективнијих техника интелигенције, дубоко учење (енгл. Deep Learning – DL), може пружити услужним роботима широки спектар способности, као што су детекција положаја и емоција људи, разумевање природних језика, као и разумевање тренутне сцене. Постигнуте способности омогућавају мобилним услужним роботима да извршавају одређене задатке у стварном и стохастичком окружењу. Имајући то на уму, у поглављу Г1.1.1 [1] представљена је детаљна анализа задатака који су најприкладнији за DL у домену сервисних робота. Штавише, спроведена је анализа најсавременијих DL модела за детекцију објеката, семантичку сегментацију и процену положаја човека. Такође, аутори су представили експерименталне резултате процеса обучавања и анализу резултата за један од најперспективнијих конволуционих модела неуронске мреже (DeepLabv3+) који се користи за семантичку сегментацију.

Конволуционе неуронске мреже, искоришћене за семантичку сегментацију, се све чешће примењују како би се повећао ниво интелигенције роботских система приликом извршавања задатка, што се остварује кроз додатно разумевање окружења у коме робот егзистира. Имајући то у виду, визуелно управљање се може извршити искључиво на основу семантичких и геометријских информација о окружењу. Како би се остварило визуелно управљање, потребно је дефинисати грешку у параметрима слика које су генерисане у тренутном и жељеном положају. У раду Г1.1.1 [2], аутори су развили нову функцију циља, базирану на тежинским коефицијентима, за регистрацију слике примењену у оквиру визуелног управљања. Када се класама на циљној слици додају тежински коефицијенти, домен конвергенције иницијалне грешке визуелног управљања се знатно повећава. Евалуација предложеног модела извршена је на мобилном роботу RAICO, на основу чега је доказано да функција циља са тежинским коефицијентима омогућава робусно визуелно управљање са мањом вероватноћом колизије, лакшом имплементацијом на индустријски роботски систем, као и са могућношћу за интелигентно навођење.

У циљу испуњења захтева за робусним и поузданим процесом детекције објеката, у раду Г1.3.2 [7] представљен је нови алгоритам базиран на дубоком учењу. Предложен је приступ заснован на конволуционим неуронским мрежама и алгоритму за откривање производно-технолошких ентитета, а детектована подручја од интереса користе се за побољшање алгоритма детекције објеката. Предложени алгоритам експериментално је верификован у реалним окружењима коришћењем нехолономног мобилног робота RAICO опремљеног стерео визуелним системом. Експериментални резултати показују побољшање од 58% у тачности упаривања карактеристичних објеката на сликама



добијеним током процеса визуелног управљања. Применом предложеног приступа заснованог на дубоком учењу број успешних експеримената повећан је за 80%.

### **Приказ техничких решења**

Стереo визуелни систем перцепције мобилног робота базиран на дубоком машинском учењу представљен је техничким решењем Г1.6.1 [1]. Новом методом је предложен систем перцепције базиран на посебној конволуционој неуронској мрежи (CNN) која интегрише *MobileNet* архитектуру и SSD моделе, којом се решава проблем перцепције мобилних робота на бази информација добијених од стереo визуелног система, пројектованог коришћењем две паралелно постављене индустријске камере BASLER daA1600-60uc и рачунарске платформе *Nvidia Jetson Nano*.

Техничким решењем Г1.6.1 [2] решава се визуелно управљање мобилног робота у технолошком окружењу на бази информација добијених од камере. Проблем визуелног управљања роботских система решава се на бази грешака у параметрима слике. Представљено техничко решење је тестирано на мобилном роботском систему *Khepera II* у лабораторијском моделу технолошког окружења, где је потврђена валидност предложеног алгорита.

### **Б. Оцена испуњености услова**

На основу увида у конкурсни материјал и претходно наведеног у овом Реферату, Комисија сагласно Закону о високом образовању Републике Србије, Правилнику о минималним условима за стицање звања наставника и сарадника на Универзитету у Београду – Машинском факултету и Статуту Машинског факултета Универзитета у Београду констатује да кандидат Александар В. Јокић, маг. инж. маш, истраживач-сарадник Машинског факултета Универзитета у Београду, испуњава све критеријуме за избор у звање асистента:

- (1) завршио је студије на Машинском факултету Универзитета у Београду са неопходним просечним оценама (основне академске студије – 8,38 и мастер академске студије – 9,30);
- (2) студент је докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду;
- (3) има изражену способност за наставни и научно-истраживачки рад;
- (4) Као аутор или коаутор, објавио је 12 научних радова пред широм научном и стручном јавношћу и верификовао је 2 техничка решења. У категорији M20 објавио је 1 научни рад у међународном часопису изузетних вредности, SCI-Web of Science® (M21a). Имао је 1 предавање по позиву на међународном скупу, штампано у целини (M31) и 5 научних радова саопштених на међународним конференцијама категорије M33. У водећем часопису националног значаја, категорије M51, објавио је 1 научни рад. На скуповима националног значаја категорије M63 објавио је 1 научни рад;
- (5) има радно искуство у области производног машинства;
- (6) активно се служи енглеским језиком;
- (7) изузетно добро познаје комплексан рад на рачунару;
- (8) има запажене награде за изванредне успехе током претходних студија;
- (9) учествује у два текућа и учествовао је у једном завршеном научно-истраживачком пројекту.

Чланови Комисије такође констатују да кандидат поседује све људске, моралне и стручне квалитете који су својствени кодексу Универзитета и да се на основу досадашњих резултата може закључити да ће кандидат бити активан и успешан у реализацији будућих наставних, научних, стручних и других активности на Машинском факултету Универзитета у Београду.

## Е. Закључак и предлог

На основу прегледа и анализе достављених материјала, Комисија за подношење реферата констатује да кандидат Александар В. Јокић, истраживач-сарадник Машинског факултета Универзитета у Београду, у потпуности испуњава све критеријуме за избор у звање асистента прописане Законом о високом образовању Републике Србије, Правилником о минималним условима за стицање звања наставника и сарадника на Универзитету у Београду – Машинском факултету и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду.

На основу изложеног, Комисија са задовољством предлаже Изборном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидат **Александар В. Јокић** буде изабран у звање **асистента на одређено време од 3 (три) године, са пуним радним временом на Катедри за производно машинство, Машинског факултета Универзитета у Београду, за ужу научну област Производно машинство.**

Место и датум: Београд, 16.08.2021. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

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

---

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

---

Др Мирко Ђапић, ванредни професор,  
Универзитет у Крагујевцу,  
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву