

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

589/4

(Број захтева)

10.07.2025.

(Датум)

Већу научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

**ЗАХТЕВ****за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ АЛЕКСАНДАР (ВЛАДАН) ЈОКИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

пријавио је докторску дисертацију под називом:

**ВИЗУЕЛНО УПРАВЉАЊЕ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАНО НА БИОЛОШКИ ИНСПИРИСАНИМ ТЕХНИКАМА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ**

из научне области: Машинство

Универзитет је дана 28.01. 2021. својим актом под бр. 61206-198/2-21

дао сагласност на предлог теме докторске дисертације

која је гласила:

**ВИЗУЕЛНО УПРАВЉАЊЕ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАНО НА БИОЛОШКИ ИНСПИРИСАНИМ ТЕХНИКАМА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ**Име и презиме ментора др Милица Петровић, ванр. проф.Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној од 15.05.2025.одлуком факултета под бр. 589/2, у саставу:

|    | Име и презиме члана комисије | звање           | научна област        | Установа у којој је запослен      |
|----|------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1. | др Зоран Миљковић            | ред. проф.      | Производно машинство | Машински факултет БУ              |
| 2. | др Живана Јаковљевић         | ред. проф.      | Производно машинство | Машински факултет БУ              |
| 3. | др Радиша Јовановић          | ред. проф.      | Аутоматско управљање | Машински факултет БУ              |
| 4. | др Никола Славковић          | ванр. проф.     | Производно машинство | Машински факултет БУ              |
| 5. | др Александар Родић          | научни саветник | Роботика             | Институт Михајло Пупин у Београду |

**Напомена:** уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности **06.06.2025.**

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана **10.07.2025.**

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 15.05.2025.

одлуком факултета под бр. 589/2

, у саставу:

|    | Име и презиме члана комисије | звање           | научна област        | Установа у којој је запослен      |
|----|------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1. | др Зоран Миљковић            | ред. проф.      | Производно машинство | Машински факултет БУ              |
| 2. | др Живана Јаковљевић         | ред. проф.      | Производно машинство | Машински факултет БУ              |
| 3. | др Радиша Јовановић          | ред. проф.      | Аутоматско управљање | Машински факултет БУ              |
| 4. | др Никола Славковић          | ванр. проф.     | Производно машинство | Машински факултет БУ              |
| 5. | др Александар Родић          | научни саветник | Роботика             | Институт Михајло Пупин у Београду |

**Напомена:** уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

**ДЕКАН ФАКУЛТЕТА**

Проф. др Владимир Поповић

- Прилози:**
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
  2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
  3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

**Напомена:** Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –  
Број: 589/4  
Датум: 10.07.2025. године  
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон 67/2019, 6/2020 – др. закони, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021, 67/2021 – др. закон и 76/2023), члана 64. Статута Машинског факултета - пречишћен текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године, чланова 46. и 47. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 10.07.2025. године, донело је:

### ОДЛУКУ

Усваја се Извештај о урађеној докторској дисертацији Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **„ВИЗУЕЛНО УПРАВЉАЊЕ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАНО НА БИОЛОШКИ ИНСПИРИСАНИМ ТЕХНИКАМА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“** студента **АЛЕКСАНДРА ЈОКИЋА**, магист. инж. маш.

У року од 30 дана од дана стављања докторске дисертације на увид јавности није било примедби на Извештај и докторску дисертацију.

Докторску дисертацију и Извештај о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-198/2-21 од 28.01.2021. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. Petrović, M., **Jokić, A.**, Miljković, Z., Kulesza, Z., *Multi-Objective Scheduling of a Single Mobile Robot Based on the Grey Wolf Optimization Algorithm*, Applied Soft Computing, 131, Article number 109784, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109784> (M21 – Science Citation Index-Web of Science® – IF = 8.7 (2022); source KoBSON) December 2022.
2. **Jokić, A.**, Petrović, M., Miljković, Z., *Semantic segmentation based stereo visual servoing of nonholonomic mobile robot in intelligent manufacturing environment*, Expert Systems with Applications, 190, Article number 116203, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116203>, (M21a – Science Citation Index-Web of Science® – IF = 8.5 (2022); source KoBSON) March 2022. (Награда Задужбине Ђоке Влајковића за најбољи научни рад младих научних радника Универзитета у Београду)
3. Petrović, M., Miljković, Z., **Jokić, A.**, *A novel methodology for optimal single mobile robot scheduling using whale optimization algorithm*, Applied Soft Computing, 81, Article number 105520, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105520> (M21a – Science Citation Index-Web of Science® – IF = 5.472 (2019); source KoBSON) August 2019.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, студенту, ментору, Катедри за производно машинство и архиви Факултета.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

---

проф. др Владимир Поповић

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Александра В. Јокића, маг. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета бр. 589/2 од 15.05.2025. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра В. Јокића, маг. инж. маш. под насловом

### **ВИЗУЕЛНО УПРАВЉАЊЕ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАНО НА БИОЛОШКИ ИНСПИРИСАНИМ ТЕХНИКАМА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ**

После прегледа достављене дисертације, других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **1. УВОД**

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Александар (Владан) Јокић уписао је Докторске академске студије (ДАС) – Машинско инжењерство на Универзитету у Београду – Машинском факултету школске 2017/18. године. Другу годину ДАС уписао је први пут школске 2018/19. године, а затим је другу годину обновио школске 2019/20. године. Трећу годину ДАС уписује школске 2020/21. године и обнавља је 2021/22, 2022/23, 2023/24. и 2024/25. године. Кандидат је испите из свих предмета предвиђених планом и програмом ДАС положио са просечном оценом 9,93 (девет и 93/100).

Кандидат је 16.11.2020. године поднео захтев број 1731/1 да му се одобри израда докторске дисертације са темом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ под менторством доц. др Милице Петровић, на који је сагласност дала Катедра за производно машинство. Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета бр. 1860/2 од 10.12.2020. године Александру В. Јокићу, маг. инж. маш. прихвата се тема докторске дисертације „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ и именује се Комисија за подношење реферата о теми докторске дисертације у саставу:

- др Зоран Миљковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Бојан Бабић, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Живана Јаковљевић, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Никола Славковић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Жарко Ћојбашић, редовни професор, Машински факултет у Нишу

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета бр. 1860/3 од 10.12.2020. године за ментора наведене докторске дисертације именује се др Милица Петровић, доцент.

На основу Извештаја наведене Комисије за подношење реферата о теми докторске дисертације бр. 1860/4 од 18.12.2020. године, Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета 24.12.2020. године доноси Одлуку бр. 1860/5 да се прихвата научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да докторанд Александар Јокић, маг. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације под насловом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду 28.01.2021. године доноси Одлуку бр. 61206-198/2-21 да се даје сагласност на одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о прихватању теме докторске дисертације Александра Јокића под називом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ и именовању доц. др Милице Петровић за ментора.

На основу обавештења др Милице Петровић, ванредног професора да је кандидат Александар В. Јокић завршио докторску дисертацију, као и предлога колегијума наставника Катедре за производно машинство, Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета 15.05.2025. године доноси Одлуку бр. 589/2 о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Зоран Миљковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Живана Јаковљевић, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Радиша Јовановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Никола Славковић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет
- др Александар Родић, научни саветник, Институт Михајло Пупин у Београду

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Александра В. Јокића под називом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ припада научној области машинско инжењерство – ужа научна област производно машинство за коју је Универзитет у Београду – Машински факултет матичан. Дисертација је рађена под менторством проф. др Милице Петровић која у протеклих 10 година има објављених 10 радова категорије M21a-M23 из уже научне области производно машинство.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

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 Универзитет у Београду – Машински факултет 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 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 ДАС на Универзитету у Београду – Машинском факултету (број индекса Д31/2017). Током првог семестра ДАС 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.

У звање истраживач-приправник изабран је 22. фебруара 2018. године, а од 1. маја 2018. године остварује право на стипендију за ДАС 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 финансирало 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, 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 је финансирао Фонд за науку Републике Србије у оквиру позива „Програм за развој пројеката из области вештачке интелигенције“. На основу одлуке број 256/6 Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета, кандидат је 12. маја 2021. године изабран у истраживачко звање истраживач-сарадник. На основу одлуке број 1043/6 Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета од 30. септембра 2021. године, кандидат се бира у звање асистент и запошљава на Катедри за производно машинство од 01.10.2021. године. Кандидат је од 01.10.2021. године анагажован у оквиру пројекта под називом „Интегрисана истраживања у области макро, микро и нано машинског инжењерства – Дубоко машинско учење интелигентних технолошких система у производном машинству“, који је финансирало Министарство просвете, науке и

технолошког развоја, односно Министарство науке, технолошког развоја и иновација Владе Републике Србије према уговорима о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2022. и 2023. години (ев. бр. 451-03-68/2022-14/200105 и 451-03-47/2023-01/200105, руководилац пројекта проф. др Владимир Поповић). Такође, кандидат је од 1. јануара 2024. године ангажован на Универзитету у Београду – Машинском факултету у својству асистента на Катедри за производно машинство, у оквиру пројекта под називом „Дубоко учење и сајбер безбедност кибернетско-физичких система Индустрије 4.0“, који финансира Министарство науке, технолошког развоја и иновација Владе Републике Србије према уговору о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2024. и 2025. години (ев. бр. 451-03-65/2024-03/200105 и 451-03-137/2025-03/200105, руководилац пројекта проф. др Владимир Поповић). Од 01.01.2025. године ангажован је на пројекту „Cybersecurity of Motion Control Systems in Industry 4.0“ (акроним – MCSecurity, ев. бр. 17801), којим руководи проф. др Живана Јаковљевић и који финансира Фонд за науку Републике Србије. У периоду од 01.04.2022. до 30.06.2022. године остварио је мобилност на Дјук Универзитету (енгл. *Duke University*) из Дурхама, Сједињене Америчке Државе кроз *Erasmus+ Higher education student and staff mobility between Programme and Partner Countries* (KA107) механизме. Током мобилности, докторанд Александар Јокић био је укључен у активности Лабораторије за кибернетско-физичке системе (енгл. *Cyber-Physical Systems Lab*) чији је руководилац проф. др Мирослав Пајић.

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

- 2017-... Интелигентни технолошки системи (МАС),
- 2018-... Компјутерска симулација и вештачка интелигенција (ОАС),
- 2018-... Завршни предмет – Компјутерска симулација и вештачка интелигенција (ОАС),
- 2018-... Методе одлучивања (МАС),
- 2020-... Роботика и вештачка интелигенција (МАС),
- 2021-... Машинско учење интелигентних роботских система (МАС),
- 2021-... Терминирање технолошких система и процеса (МАС),
- 2021-... Технологија машинске обраде (ОАС),
- 2022-... Рачунарски интегрисани системи и технологије (МАС).

Кандидат учествује, као сарадник у настави на енглеском језику, у наставном процесу следећих предмета Катедре за производно машинство:

- 2019/2020. Decision-making Methods (МАС),
- 2019/2020. Autonomous Systems and Machine Learning (ДАС),
- 2024/2025. Intelligent Manufacturing System (МАС).

Истраживачке области докторанда Александра Јокића обухватају интелигентне технолошке системе, роботiku, визуелно управљање, дубоко машинско учење, биолошки инспирисане технике вештачке интелигенције и вишекритеријумску оптимизацију. На основу свог научно-истраживачког рада, као аутор или коаутор, остварио је укупно 35 научних резултата, од чега је публикувао 31 научни рад пред широм научном и стручном јавношћу, реализовао три техничка решења и објавио један скуп података. У оквиру публикованих научних радова, објавио је два поглавља у истакнутој монографији међународног значаја (категорије M13) и четири научна рада у тематским зборницима водећег међународног значаја (категорије M13), као и једно поглавље у монографији међународног значаја (категорије M14). У оквиру

категорије M20, објавио је два рада у међународним часописима изузетних вредности, SCI-Web of Science® (M21a), као и један рад у врхунском међународном часопису M21. Имао је два предавања по позиву на међународним скуповима, штампана у целини (M31) и 13 научних радова саопштених на међународним конференцијама категорије M33. У врхунском часопису националног значаја, категорије M51, објавио је један научни рад, као и два рада у истакнутим националним часописима категорије M52. На скуповима националног значаја, категорије M63, објавио је три научна рада. Научни радови докторанда Александра Јокића цитирани су 148 пута (извор *Scopus*, датум приступа 28.05.2025. године) са индексом цитираности h-index = 4, од чега је 131 хетероцитат.

У оквиру своје научно-истраживачке каријере, кандидат је добитник многобројних награда и захвалница:

- Захвалница Централног института за конзервацију, поводом учествовања и публикација радова на конференцији под називом „*Multidisciplinary approach to contemporary research*“, 2020. године;
- Награда за најбољи рад младог истраживача на сесији Роботика и флексибилна аутоматизација конференције IcETRAN 2021. године;
- Захвалница за одржавање курса „*Cybersecurity within industry 4.0: a mobile robot case study*“, током летње школе о сајбер безбедности у Охриду (Северна Македонија) од 25. до 30. јуна 2023. године;
- Награда Задужбине Ђоке Влајковића за најбољи научни рад младих научних радника Универзитета у Београду 2024. године.

Кандидат је завршио обуку под називом „Обука за држање наставе на енглеском језику“, Фондација Темпус, Универзитет у Београду, новембар 2023 – јануар 2024. године и поседује активно знање енглеског језика. У свакодневном раду напредно користи значајан број програмских језика и софтверских пакета: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, Visio), SolidWorks, MATLAB, програмски језик C, Linux, Python, PyTorch, CoppeliaSim/Vrep, AnyLogic, CorelDRAW.

Докторанд је рецензент следећих међународних часописа са импакт фактором:

- Robotica (ISSN: 0263-5747);
- Journal of Intelligent and Robotic Systems (ISSN: 0921-0296);
- IEEE Transactions on Industrial Electronics (ISSN: 0278-0046);
- IEEE access (ISSN: 2169-3536);
- International Journal on Interactive Design and Manufacturing (ISSN: 1955-2513);
- Cybernetics and Systems (ISSN: 0196-9722);
- Tehnički vjesnik (ISSN: 1330-3651);
- Expert Systems With Applications (ISSN: 0957-4174);
- International Journal of Advanced Robotic Systems (ISSN: 1729-8814);

као и међународних конференција:

- International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN);
- International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT);
- International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO);
- International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD).

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација докторанда Александра Јокића под насловом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ представљена је на 148 страна А4 формата, писана је коришћењем серифног *Times New Roman* фонта величине 12pt са једноструким проредом. Садржи 81 слику, 31 табелу и 137 једначина, а структурирана је у следећих седам поглавља:

1. Увод
2. Интелигентни мобилни роботски систем RAICO
3. Систем перцепције мобилног робота
4. Визуелно управљање мобилних роботских система
5. Терминирање мобилних робота у оквиру интелигентних технолошких система
6. Закључак
7. Литература

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, списак литературе са 152 литературна извора, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу приказани су општи правци развоја интелигентних технолошких система, са аспекта примене парадигме Индустрија 4.0, као и интеграције мобилних роботских система као транспортних средстава. Такође, анализиран је потенцијал примене техника вештачке интелигенције у оквиру мобилних роботских система у циљу повећања њихове флексибилности, аутономности и когнитивности. Затим се наводе научни циљеви докторске дисертације, полазне хипотезе и научни доприноси везани за (i) развој и примену система перцепције мобилног робота који се базира на вештачкој интелигенцији односно конволуционим неуронским мрежама (енгл. *Convolutional Neural Networks* – CNN), (ii) развој стерео визуелног управљачког система нехолономног мобилног робота на бази семантичке сегментације, и (iii) вишекритеријумско метахеуристичко терминирање технолошких процеса и мобилних робота у оквиру интелигентног технолошког система. Приказана је и основна структура рада са кратким описом свих поглавља.

Друго поглавље односи се на развој мобилног роботског система RAICO (енгл. *Robot with Artificial Intelligence based COgnition*). Детаљно су приказане фазе развоја сваког од подсистема (погонски подсистем, подсистем за манипулацију, стерео визуелни подсистем и управљачки подсистем) мобилног робота RAICO. Затим су анализирани рачунарске платформе за интеграцију на мобилни робот и извршено је подешавање параметара ради остваривања оптималног рада стерео визуелног система.

Приказ развоја система перцепције мобилног робота дат је у трећем поглављу. Преваходно су приказане основе дубоког машинског учења, са примарним освртом на ефикасне моделе CNN мрежа, њихове архитектуре и слојеве, као и могућност њихове примене у реалном времену на рачунарској платформи *Jetson Nano*. Затим је анализиран проблем семантичке сегментације сцене, као и модели CNN мрежа развијени за тај проблем. Након анализе ефикасних модела CNN мрежа, предложено је и, у оквиру експерименталне верификације, поређено 24 архитектуре CNN мрежа, на основу које је одабрана оптимална са аспекта тачности и брзине извршавања. Дефинисан је и проблем регистрације слика, са посебним

фокусом на регистрацију семантичких мапа генерисаних применом CNN мрежа. Поређена су три оптимизациона алгоритма и три функције циља за проблем регистрације семантичких мапа, а на основу две експерименталне верификације одабрана је оптимална комбинација оптимизационог алгоритма и функције циља.

Четврто поглавље посвећено је развоју стерео визуелног система управљања на бази семантичке сегментације. Прво је приказана детаљна анализа стања у области истраживања, подељена у три подгрупе: (i) истраживања везана за директно визуелно управљање, (ii) истраживања у области визуелног управљања мобилних робота и (iii) истраживања посвећена примени машинског учења у области визуелног управљања роботских система. Затим су приказане математичко-алгоритамске поставке основних метода визуелног управљања, као и њихова имплементација и поређење на нехолономним мобилним роботским системима. Након тога, приказан је развој стерео визуелног алгоритма управљања на бази семантичке сегментације. Приказано је и анализирано пет експерименталних верификација, две изведене у симулацији, а три у лабораторијском окружењу са мобилним роботским системом RAICO.

Алгоритам за терминирање мобилних робота у оквиру интелигентних технолошких система приказан је у петом поглављу. Дата је детаљна математичка формулација проблема терминирања технолошких процеса у оквиру којих транспорт материјала изводи један мобилни робот. Анализиране су постојеће методологије за вишекритеријумско терминирање технолошких процеса примарно на бази биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције. Извршено је кодирање планова терминирања и математичко моделирање проблема терминирања технолошких процеса. Формулисано је 13 функција циља и приказане су основе вишекритеријумске оптимизације. Затим су представљене основе везане за алгоритам инспирисан интелигенцијом чопора вукова (енгл. *Grey Wolf Optimizer* – GWO). На крају је приказан новоразвијени алгоритам за вишекритеријумско терминирање технолошких процеса и једног мобилног робота на бази GWO алгоритма. Извршене су две експерименталне верификације, са приказом резултата и предности предложеног алгоритма у односу на постојеће *state-of-the-art* алгоритме.

У шестом поглављу представљена је анализа свих спроведених истраживања и приказана детаљна дискусија остварених научно-истраживачких резултата. Изведени су критички закључци везани за остварене резултате истраживања, карактеристике развијених методологија и алгоритама, као и испуњеност полазних хипотеза. Предложени су правци будућих истраживања у релевантним областима.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација докторанда Александра Јокића под називом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ представља савремен и оригиналан научни рад у области интелигентног визуелног управљања и терминирања мобилних робота у оквиру интелигентних технолошких система. У оквиру дисертације развијен је оригинални систем перцепције мобилног робота базиран на стерео визуелном вештачком гледању, примени метода дубоког машинског учења односно конволуционих неуронских мрежа за семантичку сегментацију и алгоритма за регистрацију слика. На основу система перцепције, развијен је иновативни стерео визуелни систем управљања нехолономних мобилних робота који омогућава следеће карактеристике: 1) високу тачност остваривања положаја мобилног робота, 2) робустност на грешке при семантичкој сегментацији, 3) робустност при заклањању дела сцене и 4) могућност коришћења слика циља генерисаних у симулацији. У поређењу *state-of-the-art* алгоритмима,

наведени алгоритам значајно повећава како тачност остваривања положаја тако и флексибилност примене интелигентних мобилних роботских система. Затим, развијена је методологија за вишекритеријумско биолошки инспирисано терминирање технолошких ентитета и мобилних роботских система у интелигентном технолошком систему. У односу на приступе у релевантној литератури, интеграцијом поменутих методологија и алгоритама подиже се ниво аутономности мобилних роботских система, при чему се остварују когнитивне способности мобилних робота које обезбеђују да унутрашњи транспорт материјала буде оптимално терминиран.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације, коришћени су референтни и актуелни литературни извори – пре свега радови из утицајних научних часописа, међународних конференција и монографија, као и техничких решења и патената из релевантних области. Извршен је детаљан преглед литературе која се односи на примену ефикасних модела дубоког учења за потребе семантичке сегментације слике, визуелно управљање мобилних роботских система, визуелно управљање на бази вештачке интелигенције, директно визуелно управљање и терминирање технолошких процеса и мобилних робота. Ове методе су коришћене и за упоредну анализу и верификацију перформанси развијених алгоритама и методологија. О актуелности наведене литературе говори и податак да је више од 65% литературних извора објављено у последњих 10 година. На основу Правилника о поступку провере докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, извршена је провера оригиналности докторске дисертације „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ аутора Александра В. Јокића коришћењем програма iThenticate. Утврђен је индекс сличности од 3%, уз свако појединачно преклапање мање од 1%, што је у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У току израде докторске дисертације, коришћене су мултидисциплинарне научне методе које поред техника уско везаних за производне технологије, управљање роботским системима и терминирање технолошких ентитета, обухватају и методе из области математике и рачунарства. Конкретно, коришћене су следеће актуелне научне методе:

- Методе дигиталне обраде слика у системима вештачког гледања,
- Методе биолошки инспирисане оптимизације примењене на процес регистрације слика,
- Методе дубоког машинског учења засноване на конволуционим неуронским мрежама,
- Методе развоја симулационих модела мобилних робота у оквиру софтверског пакета *CoppeliaSim*, које укључују моделирање погонског, сензорског и механичког подсистема у циљу верификације развијених алгоритама,
- Методе интелигентног визуелног управљања мобилних роботских система,
- Методе вишекритеријумске оптимизације базиране на биолошки исписаним техникама вештачке интелигенције,
- Методе за аквизицију и статистичку обраду експерименталних података,

које су током истраживања примењене на адекватан начин.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Један од главних светских праваца развоја области роботике је ка интеграцији роботских система са неком од техника вештачке интелигенције. Ова интеграција омогућава роботским системима, а поготово мобилним роботским системима, да имају повишени ниво аутономије, могућност одлучивања о наредним задацима и боље разумевање њиховог окружења. Имајући то у виду, предложени систем перцепције може имати директну применљивост код индустријских мобилних роботских система у оквиру подсистема за локализацију, навигацију или мапирање окружења. Предложени стерео визуелни систем управљања, који обезбеђује повишену тачност остваривања положаја и флексибилност коришћења слике циља генерисане у симулацији, је од изузетне важности за примену роботских система у нестационарним и недетерминистичким технолошким системима. Оптимално терминирани технолошки процеси представљају један од основних захтева које је потребно испунити интеграцијом парадигме Индустрија 4.0 у савремене технолошке системе, на основу чега се може закључити да су истраживања везана за терминирање релевантна и применљива.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, докторанд Александар В. Јокић испољио је изузетан квалитет и показао способност да самостално решава научно-истраживачке и инжењерске проблеме, као и да самостално овладава савременим методама теоријског и експерименталног карактера користећи релевантне литературне изворе, што указује на компетентност кандидата да се бави комплексним истраживањима и научним радом.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ кандидата Александра В. Јокића, остварен је научни допринос кроз:

1. Развој новог алгоритма визуелног управљања нехолономног мобилног робота RAICO базираног на фузији стерео визуелних информација са две индустријске камере и семантичких мапа које су генерисане применом конволуционих неуронских мрежа [1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13, 15];
2. Развој нове методологије за вишекритеријумско терминирање технолошких ентитета и мобилних робота базирано на метахеуристичком алгоритму инспирисаном чопором вукова [5, 7, 8, 9, 14].

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа референтне литературе у области, констатујемо да су резултати истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације значајни и научно утемељени. Предложена методологија представља следећа унапређења у односу на остале (постојеће) приступе:

1. За разлику од алтернативних приступа визуелног управљања који се базирају на геометријским информацијама, предложени стерео визуелни систем управљања користи семантичке информације, генерисане применом система перцепције, које омогућавају виши ниво тачности остваривања положаја, робустност на грешке при семантичкој сегментацији, робустност на заклањање дела сцене, могућност коришћења циљних слика генерисаних у симулацији, што доводи до значајно

повишене тачности и флексибилности примене роботских система са визуелним управљањем.

2. У поређењу са другим *state-of-the-art* алгоритмима, методологија базирана на алгоритму инспирисаном интелигенцијом чопора вукова, са иновативном стратегијом за избор лидера, остварује оптималне планове терминирања на основу одабраних вишекритеријумских функција циља.
3. За разлику од осталих приступа, креирани алгоритми су примењени на реалном роботском систему и њихова употребљивост је демонстрирана у релевантном лабораторијском окружењу.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси наведени у потпоглављу 4.1. верификовани су кроз научне радове различитих категорија, од којих се издвајају радови категорије M20:

##### Категорија M10:

- [1] Petrović, M., Miljković, Z., **Jokić, A.**, *Efficient Machine Learning of Mobile Robotic Systems based on Convolutional Neural Networks*, In: A. T. Azar and A. Koubaa (eds) Artificial intelligence for Robotics and Autonomous Systems Applications. Studies in Computational Intelligence, vol 1093. Springer, pp. 1-26 (ISBN 978-3-031-28714-5), DOI: 10.1007/978-3-031-28715-2, 2023, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-28715-2> (M13).
- [2] Miljković, Z., **Jokić, A.**, Petrović, M., *Image Registration Algorithm for Deep Learning-Based Stereo Visual Control of Mobile Robots*, In: Koubaa A., Azar A.T. (eds) Deep Learning for Unmanned Systems. Studies in Computational Intelligence, vol 984. Springer, Cham, pp. 447-479, ISBN: 978-3-030-77938-2, DOI: 10.1007/978-3-030-77939-9\_13 2021, [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77939-9\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77939-9_13) (M13).
- [3] **Jokić, A.**, Petrović, M., Kulesza, Z., 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, DOI: 10.1007/978-3-030-75275-0\_82, pp. 744-752, June 25th, 2021. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-75275-0\\_82](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-75275-0_82) (M13).
- [4] 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, pp. 77-97, June 2nd, 2021. <https://novapublishers.com/shop/service-robots-advances-in-research-and-applications/> (M14).

##### Категорија M20:

- [5] Petrović, M., **Jokić, A.**, Miljković, Z., Kulesza, Z., *Multi-Objective Scheduling of a Single Mobile Robot Based on the Grey Wolf Optimization Algorithm*, Applied Soft Computing, 131, Article number 109784, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109784> (M21 – Science Citation Index-Web of Science® – IF = 8.7 (2022); source KoBSON) December 2022.
- [6] **Jokić, A.**, Petrović, M., Miljković, Z., *Semantic segmentation based stereo visual servoing of nonholonomic mobile robot in intelligent manufacturing environment*, Expert Systems with Applications, 190, Article number 116203, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116203>, (M21a – Science Citation Index-Web of Science® – IF = 8.5 (2022); source KoBSON) March 2022. (Награда Задужбине Ђоке

Влајковића за најбољи научни рад младих научних радника Универзитета у Београду)

- [7] Petrović, M., Miljković, Z., **Jokić, A.**, *A novel methodology for optimal single mobile robot scheduling using whale optimization algorithm*, Applied Soft Computing, 81, Article number 105520, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105520> (**M21a** – Science Citation Index-Web of Science® – **IF = 5.472** (2019); source **KoBSON**) August 2019.

#### Категорија M30:

- [8] **Jokić A.**, Petrović M., Miljković Z., *The Arithmetic Optimization Algorithm for Multi-Objective Mobile Robot Scheduling*. In 39th International Conference on Production Engineering of Serbia (ICPES 2023), pp 9-15, Novi Sad, Serbia, 2023, [https://hdl.handle.net/21.15107/rcub\\_machinery\\_7004](https://hdl.handle.net/21.15107/rcub_machinery_7004) (**M33**).
- [9] Petrović, M., **Jokić, A.**, Miljković, Z., Kulesza, Z., *Multi-Objective Population-Based Optimization Algorithms for Scheduling of Manufacturing Entities*, In 26th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), pp. 403-407 (ISBN 978-1-6654-6857-2), Miedzyzdroje, Poland, 2022, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9874301> (**M33**).
- [10] 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 (**M33**).
- [11] **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 (**M33**).

#### Категорија M50:

- [12] **Jokić, A.**, Đokić, L., Petrović, M., Miljković, Z., *Data Augmentation Methods for Semantic Segmentation-based Mobile Robot Perception System*, Serbian journal of electrical engineering, 19(3), pp. 291-302, DOI: 10.2298/SJEE2203291J, 2022, <https://sjee.ftn.kg.ac.rs/index.php/sjee/article/view/927/567> (**M52**).
- [13] **Jokić, A.**, Petrović, M., Miljković, Z., *Metode vizuelnog upravljanja robotskih sistema - pregled stanja u oblasti istraživanja*, TEHNIKA, 67(6), pp. 801-816, ISSN 0040-2176, eISSN 256-3086, DOI: 10.5937/tehnika1806801J, 2018 (**M51**).

#### Категорија M80:

- [14] Petrović, M., **Jokić, A.**, Babić, B., *Višekriterijumsko odlučivanje inteligentnog mobilnog robota na bazi metoda metaheurističke optimizacije i dubokog mašinskog učenja*. Tehničko rešenje, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, 2022 (**M85**).
- [15] **Jokić, A.**, Petrović, M., Miljković, Z., Babić, B., *Stereo vizuelni sistem percepcije mobilnog robota baziran na dubokom mašinskom učenju*. Tehničko rešenje, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, 2021 (**M85**).

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа и анализе докторске дисертације „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ докторанда Александра В. Јокића, маг. инж. маш, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је дисертација успешно завршена у складу са предметом и постављеним циљевима истраживања и да представља оригинални научни рад са научним доприносом у научној области машинско инжењерство, ужа научна област производно машинство. Кандидат је кроз спроведена истраживања дошао до оригиналних научних резултата који су успешно експериментално верификовани и који се могу применити у инжењерској пракси.

Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Машинског факултета да усвоји овај Извештај и да се докторска дисертација под називом „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“ докторанда **Александра В. Јокића, маг. инж. маш.** прихвати, заједно са овим Извештајем стави на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Место и датум: Београд, 30.05.2025. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

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

---

Др Живана Јаковљевић, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Машински факултет

---

Др Радиша Јовановић, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Машински факултет

---

Др Никола Славковић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду – Машински факултет

---

Др Александар Родић, научни саветник,  
Институт Михајло Пупин у Београду

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
Бр. 589/2  
Датум: 15.05.2025. године  
БЕОГРАД, Ул. краљице Марије бр. 16

На основу обавештења др Милице Петровић, ванр. проф., ментора да је студент Александар Јокић, маст. инж. маш., завршио докторску дисертацију „Визуелно управљање мобилног робота базирано на биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције“, предлога Колегијума наставника Катедре за производно машинство, а сагласно члану 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012, 89/2013 и 76/2023) и члану 42 Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно – научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 15.05.2025. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

- др Зоран Миљковић, ред. проф.,
- др Живана Јаковљевић, ред. проф.,
- др Радиша Јовановић, ред. проф.,
- др Никола Славковић, ванр. проф.
- др Александар Родић, научни саветник, Институт Михајло Пупин у Београду.

именују се за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **„ВИЗУЕЛНО УПРАВЉАЊЕ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАНО НА БИОЛОШКИ ИНСПИРИСАНИМ ТЕХНИКАМА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“** студента **АЛЕКСАНДРА ЈОКИЋА**, маст. инж. маш.

Одлуку доставити: члановима Комисије, студенту и архиви Факултета.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

---

проф. др Владимир Поповић