

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Факултет организационих наука

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Николе Зорнића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа ФОН-а 05-01 бр. 59-9 од 15.07.2020. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Николе Зорнића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Методолошки оквир за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима“**.

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Никола Зорнић је рођен 22.5.1990. године у Краљеву. Основну школу „IV краљевачки батаљон“ завршио је као носилац дипломе „Вук Караџић“. Средњу економско-трговинску школу у Краљеву је завршио 2009. године и исте године уписује Факултет организационих наука Универзитета у Београду, студијски програм Менаџмент и организација, студијска група Менаџмент. Положио је испите предвиђене наставним планом и програмом и одбранио завршни рад основних академских студија на тему „Примена софтверског пакета @RISK у симулацији стохастичких система“ под менторством проф. др Александра Марковића у септембру 2013. године. Основне академске студије је завршио са просечном оценом 9,74 (девет и 74/100) и стекао звање дипломирани инжењер организационих наука.

Школске 2013/2014 уписао је Мастер академске студије на Факултету организационих наука на студијском програму Менаџмент и организација, модул Пословна интелигенција и одлучивање. Положио је испите предвиђене наставним планом и програмом студијског програма и одбранио је завршни мастер рад на тему „Примена модела динамике система за анализу популације студената“, под менторством проф. др Александра Марковића у октобру 2014. године. Мастер академске студије је завршио са просечном оценом 9,71 (девет и 71/100) и стекао звање мастер инжењер организационих наука.

Школске 2014/2015 уписао је Мастер академске студије на Факултету организационих наука на студијском програму Пословна аналитика, модул Пословна статистика. Положио је испите предвиђене наставним планом и програмом студијског програма и одбранио је завршни мастер рад на тему „Симулациони модел заснован на агентима за анализу саобраћаја у реалном времену“, под менторством проф. др Александра

Марковића у септембру 2017. године. Мастер академске студије је завршио са просечном оценом 10,00 (10 и 00/100) и стекао звање мастер инжењер организационих наука.

Школске 2015/2016 године уписао је Докторске академске студије на Факултету организационих наука, студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје Квантитативни менаџмент, где је положио све испите са просечном оценом 10,00 (десет и 00/100) и пријавио тему приступног рада „Методолошки оквир за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима“.

Током августа 2017. године је као добитник Erasmus+ стипендије похађао курс „Dynamic Business Models“ на летњој школи на Radboud University у Најмегену у Холандији.

Никола Зорнић је од марта 2014. до новембра 2016. године био ангажован на Факултету организационих наука као демонстратор и сарадник ван радног односа – демонстратор за ужу научну област Моделирање пословних система и пословно одлучивање. Током ангажовања на Факултету организационих наука, учествовао је у припреми и одржавању вежби и испита на основним академским студијама, на предметима Симулација у пословном одлучивању и Симулациони модели у финансијама. Од децембра 2016. године је ангажован на Факултету организационих наука прво као сарадник у настави, а затим и као асистент на Катедри за организацију пословних система, за ужу научну област Моделирање пословних система и пословно одлучивање.

Поседује искуство у раду са студентима на Факултету организационих наука. Његов педагошки рад је оцењен путем анкете о вредновању наставника и сарадника просечном 4,79 и више. У летњем семестру школске 2018/2019 године био је најбоље оцењени сарадник на Факултету.

Учествује на научно-истраживачком пројекту Министарства науке, просвете и технолошког развоја “Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији” (број пројекта: 47003). Такође, учествује и у пројекту “Teach4Edu4”, одобреном од стране Erasmus+ програма Европске уније.

Учествовао је у реализацији пројекта за унапређење мастер програма Пословна аналитика, финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја током школске 2017/2018 године.

Поред тога, 2018. године је учествовао у пројекту „IPA 2015 Multi-beneficiary statistical cooperation programme“, финансираном од стране Европске Комисије, као консултант. Такође, 2019. године је учествовао у пројекту „Financial management, accounting and controlling for capacity building of public administration (FINAC)“, финансираном од стране Европске Комисије.

Никола Зорнић је награђен за најбољи рад конференције у две прилике: „The 27th Central European Conference on Information and Intelligent Systems (CECIIS 2016)“, као и „XVI International Symposium SymOrg 2018 – Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions“.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

Никола Зорнић је у новембру 2015. године уписао докторске академске студије на Факултету организационих наука, на студијском програму Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје – Квантитативни менаџмент. Положио је свих девет испита предвиђених планом студијског програма:

Предмет	Оцена	ЕСПБ
Рачунарска симулација и виртуелна реалност	10	10
Одлучивање – одабрана поглавља	10	10
Квантитативни модели и методе у менаџменту	10	10
Методологија научно-истраживачког рада	10	10
Мултиваријациона анализа	10	10
Маркетинг информациони системи	10	10
Менаџмент електронског пословања – одабрана поглавља	10	10
Статистика у менаџменту	10	10
Наука о менаџменту	10	10

Кандидат је дана 25.11.2020. године одбранио приступни рад под називом „Методолошки оквир за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима“ и остварио 30 ЕСПБ.

Током ангажовања на Факултету организационих наука кандидат је ангажован на предметима Симулација у пословном одлучивању и Симулациони модели у финансијма на основним академским студијама и на предметима Симулација у финансијском одлучивању, Динамика пословних система, Наука о подацима, Оптимизација и симулација у аналитици на мастер академским студијама.

Никола Зорнић је, у сарадњи са другим ауторима, објавио више научних радова у међународним и домаћим часописима, као и у зборницима радова са међународних и домаћих конференција.

Рад објављен у часопису међународног значаја (M20)

1. **Zornić, N.**, Marković, A., & Jeremić, V. (2014). How the Top 500 ARWU Can Provide a Misleading Rank. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 65(6), 1303–1304. doi:10.1002/asi.23207. ISSN: 2330-1635. **[IF (2014): 1.846 | M21]**
2. **Zornić, N.**, Bornmann, L., Maričić, M., Marković, A., Martić, M., & Jeremić, V. (2015). Ranking institutions within a university based on their scientific performance: A percentile-based approach. *El profesional de la información*, 24(5), 551-566. <http://dx.doi.org/10.3145/epi.2015.sep.05>. ISSN: 1386-6710. **[IF (2015): 0.531 | M22]**
3. Maricic, M., **Zornic, N.**, Pilcevic, I., & Dacic-Pilcevic, A. (2017). ARWU vs. Alternative ARWU Ranking: What are the Consequences for Lower Ranked Universities? *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 22(1), 1–14. <http://doi.org/10.7595/management.fon.2017.0002>. **[M24]**

4. Marović, Đ., Čavoški, S., Marković, A., & **Zorniћ, N.** (2019). Human Factor in Digital Transformation of Workforce Management: A Case of Southeastern European Telecommunication Company. In *Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent Systems* (pp. 181–185). Varaždin, Croatia, 02 - 04 October: Faculty of Organization and Informatics, University of Zagreb. [M33]
5. Marović, Đ., Marković, A., Čavoški, S., & **Zorniћ, N.** (2019). Digital Transformation of Workforce Management Processes: A Case of Southeastern European Telecommunication Company. In *Challenges of Europe: Growth, Competitiveness, Innovation and Well-Being*. Bol, Island Brac, 22 - 24 May: Faculty of Economics, University of Split. [M33]
6. **Zorniћ, N.**, Marković, A., & Čavoški, S. (2018). Forecasting Cryptocurrency Investment Return Using Time Series and Monte Carlo Simulation. In *Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent Systems* (pp. 153–160). Varaždin, Croatia, 19 - 21 September: Faculty of Organization and Informatics, University of Zagreb. ISSN: 1847-2001. [M33]
7. **Zorniћ, N.**, & Marković, A. (2018). Cryptocurrency Price Forecasting Using Time Series and Monte Carlo Modeling and Simulation. In *XVI International Symposium SymOrg 2018 – Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions*. Zlatibor, Serbia, 07-10 June: University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. ISBN: 978-86-7680-361-3. **[награда за најбољи рад конференције | M33]**
8. **Zorniћ, N.**, Marković, A., & Maričić, M. (2018). Applying system dynamics to model the world of cryptocurrency. In *International Scientific Conference Economics of Digital Transformation (EDT) 2018 DIGITOMICS* (pp. 273–286). Opatija, Croatia: University of Rijeka, Faculty of Economics Rijeka. [M33]
9. **Zorniћ, N.**, Marković, A., & Čavoški, S. (2017). Agent-Based Simulation Model for Real-Time Traffic Analyses. *Central European Conference on Information and Intelligent Systems* (pp. 213–217). September 27-29, Varaždin, Croatia. ISSN: 1848-2295. [M33]
10. Maricic, M., **Zornic, N.**, & Jeremic, V. (2017). Ranking European Universities based on their level of Internationalization: the European University-Internationalization Index. In *Proceedings of 9th International Conference on Education and New Learning Technologies – EduLearn17*, Barcelona, Spain, pp. 8004-8014. ISBN: 978-84-697-3777-4, ISSN: 2340-1117, DOI: 10.21125/edulearn.2017. [M33]
11. Čavoški, S., Marković, A., & **Zorniћ, N.** (2017). Framework for Analyses of Consumers' Behaviour in B2C e-Commerce. *The Twelfth International Conference: "Innovative Responses for Growth and Competitiveness" - Challenges of Europe* (pp. 381–402). Bol, Island Brac, 17 - 19 May: Faculty of Economics, University of Split. ISSN: 1849-2541. [M33]
12. Markovic, A., & **Zornic, N.** (2016). Trends in the Application of Agent-Based Modeling and Simulation. *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, September 21-23, 65-70 Varaždin, Croatia. ISSN: 1848-2295. **[награда за најбољи рад конференције | M33]**

13. **Zornić, N.**, Dobrota, M., & Jeremić, V. (2016). Measuring the Stability of University Rankings in the Field of Education. *ENTRENOVA 2016 Proceedings*, September 08-09, Rovinj, Croatia, 294-301. ISSN: 1849-7950. [M33]
14. Maricic, M., **Zornic, N.**, & Jeremic, V. (2016). Ranking European universities based on their level of collaboration with the Industry: The University-Industry Research Connections Index. *8th International Conference on Education and New Learning Technologies*, July 04-06, Barcelona, Spain, 6095-6105. doi: 10.21125/edulearn.2016.0306. ISBN: 978-84-608-8860-4. [M33]
15. **Zornić, N.**, & Marković, A. (2016). Agent-based Models: A Review of Applications. *SymOrg 2016: Reshaping the Future through Sustainable Business Development and Entrepreneurship*, June 10-13, Zlatibor, Serbia, 61-67. ISBN: 978-86-7680-326-2. [M33]
16. Jeremić, V., Jovanović-Milenković, M., & **Zornić, N.** (2013). A New Perspective on Evaluating S&T in ICT Oriented Societies: Statistical Approach. *BALCOR*. Zlatibor. ISBN: 978-86-7680-285-2. [M34]

Rad objavljen u monografiji nacionalnog značaja (M40)

17. Marković, A., **Zornić, N.**, & Čavoški, S. (2018). Modeliranje i simulacija u finansijskom odlučivanju. In S. Benković (Ed.), *Finansijski menadžment, kontrola i menadžersko računovodstvo* (1st ed., pp. 267–283). Beograd, Srbija: Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka. [M44]

Rad objavljen u časopisu međunarodnog značaja (M50)

18. Jeremić, V., **Zornić, N.**, Jovanović-Milenković, M., Marković, A., & Radojičić, Z. (2013). Proportion of Collaborative Publications as an Ultimate Indicator of Leiden 2013 World Best Universities Rankings. *Management Journal for Theory and Practice Management*, 2013(68), 5–12. doi:10.7595/management.fon.2013.0020. ISSN: 1820-0222. [M51]

Rad objavljen na nacionalnom naučnom skupu (M60)

19. Dobrota, M., **Zornić, N.**, & Marković, A. (2019). Modeling FDI Time Series: Evidence From Emerging Markets. In *46th International Symposium on Operational Research Sym-Op-Is 2019*. Kladovo, Serbia, 15 - 18 September: Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu. [M63]
20. Maričić, M., **Zornić, N.**, Dobrota, M., & Jeremić, V. (2016). Sensitivity analysis of Balkan universities on the URAP ranking list: Why is it important? *Book of Proceedings, ECIN 2016: International Economics and Management Conference*, Belgrade, Serbia, 139-146. ISBN: 978-86-7329-100-0. [M63]
21. Radonić, M., **Zornić, N.**, Ašković, O., Božić, A., Baraćkov, M., Stanković, M., & Jakovljević, I. (2013). New Aspects fo Financial Support for Innovations Worldwide. *RaDMI*. Vrnjačka Banja, 546–555. ISBN 978-86-6075-042-8. [M63]
22. Radonić, M., & **Zornić, N.** (2013). Crowdfunding as a Future of Energy Efficiency and Environment Protection. *SPIN*. Beograd, 241–248. ISBN: 978-86-7680-288-3. [M63]

Поред тога што је био међу ауторима научних радова, био је и рецензент за међународне часописе: i) *Scientometrics*, ii) *Collnet Journal of Scientometrics and Information Management*, и iii) *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Никола Зорнић је завршио основне студије и два програма на мастер академским студијама Факултета организационих наука, Универзитета у Београду. На докторским студијама Факултета организационих наука положио је свих девет испита предвиђених планом и програмом студија и остварио је 120 ЕСПБ. Од завршетка основних студија, ангажован је на Факултету организационих наука у Београду, где је радио прво као демонстратор и сарадник ван радног односа, затим као сарадник у настави, а сада као асистент за ужу научну област Моделирање пословних система и пословно одлучивање. Ангажован је на предметима из области из које је предложена тема докторске дисертације.

Узимајући у обзир резултате остварене током досадашњег образовања, резултате досадашњег истраживачког рада који су објављени у научним часописима и на научно-стручним конференцијама, као и радно искуство кандидата, сматрамо да кандидат **Никола Зорнић** поседује потребно знање и искуство за израду докторске дисертације на тему „**Методолошки оквир за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима**“.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације је развој методолошког оквира за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима.

У моделима симулације засноване на агентима, који представљају организационе системе и процесе у оквиру њих, агенти најчешће представљају људе и њихово понашање [4]. Главна претпоставка се огледа у томе да људи и њихове друштвене интеракције могу веродостојно, на разумном нивоу апстракције, да се моделирају агентима [5]. У ту сврху користе се основне особине агената, њихова аутономија и способност да самостално делују и да се прилагођавају датим околностима. Ове особине се често наводе у литератури и као главно оправдање и предност за примену моделирања и симулације засноване на агентима у односу на друге методологије симулације [6], [7].

У моделима симулације засноване на агентима, где је неопходно да агенти током интеракције доносе одлуке, често се користе функције корисности (*utility function*), као и праг корисности (енгл. *threshold*). Формирање функције корисности најчешће захтева одабир варијабли и тежинских коефицијената који ће бити њен саставни део, што често није лако урадити на објективан начин, па се заснива на субјективној процени. Методолошки оквир који ће бити развијен у докторској дисертацији пружа решење за претходно наведене недостатке у коришћењу функције корисности.

Основна идеја јесте изградња хибридног модела, који укључује симулацију засновану на агентима и алгоритме машинског учења, а на основу историјских података. Алгоритми машинског учења замењују функцију корисности и елиминишу субјективност из овог дела изградње модела симулације засноване на агентима.

Циљ истраживања јесте да се развије и имплементира методолошки оквир за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима. На тај начин могуће је заменити традиционалне приступе који се заснивају на

коришћењу функције корисности, а која у моделе уноси одређени ниво субјективности и умањује веродостојност модела. Применом предложеног приступа, заснованог на алгоритмима машинског учења над историјским подацима, повећава се ниво квалитета одлучивања агената у међусобним интеракцијама.

2.1. Списак коришћених референци

Кандидат је приликом израде приступног рада користио 54 референце. Редни број референце у овом реферату одговара редном броју референце из списка коришћених референци у приступном раду.

- [1] M. Prokopenko, F. Boschetti, and A. J. Ryan, "An information-theoretic primer on complexity, self-organization, and emergence," *Complexity*, vol. 15, no. 1, pp. 11–28, Sep. 2009, doi: 10.1002/cplx.20249.
- [2] R. Abbott, "Emergence explained: Abstractions: Getting epiphenomena to do real work," *Complexity*, vol. 12, no. 1, pp. 13–26, Sep. 2006, doi: 10.1002/cplx.20146.
- [3] A. Marković and N. Zornić, "Trends in the Application of Agent-Based Modeling and Simulation," in *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, Sep. 2016, pp. 65–70.
- [4] G. N. Gilbert and K. G. Troitzsch, *Simulation for the social scientist*. Open University Press, 2005.
- [5] С. Чавошки, "Симулациони модели засновани на агентима као подршка одлучивању у електронском пословању," Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, 2016.
- [6] C. Macal and M. North, "Tutorial on agent-based modelling and simulation," *Journal of Simulation*, vol. 4, no. 3, pp. 151–162, Sep. 2010, doi: 10.1057/jos.2010.3.
- [7] M. Wooldridge and N. R. Jennings, "Intelligent agents: theory and practice," *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10, no. 02, pp. 115–152, Jun. 1995, doi: 10.1017/S0269888900008122.
- [8] S. Raschka and V. Mirjalili, *Python Machine Learning: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow*, Second Edi. Birmingham: Packt Publishing, 2017.
- [9] S. J. Taylor, "Introducing agent-based modeling and simulation," in *Agent-based Modeling and Simulation*, S. J. Taylor, Ed. Palgrave Macmillan, 2014.
- [10] D. Goldsman, R. E. Nance, and J. R. Wilson, "A brief history of simulation revisited," 2010, doi: 10.1109/WSC.2010.5679129.
- [11] K. Tocher and D. Owen, "The automatic programming of simulations," in *Proceedings of the Second International Conference on Operational Research*, 1960, pp. 58–60.
- [12] J. Forrester, *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA: The M.I.T. Press, 1961.
- [13] Н. Зорнић, "Симулациони модел заснован на агентима за анализу саобраћаја у реалном времену," Универзитет у Београду - Факултет организационих наука, 2017.
- [14] F. C. Billari, T. Fent, A. Prskawetz, and J. Scheffran, Eds., *Agent-Based Computational Modelling*. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2006.
- [15] M. Barbati, G. Bruno, and A. Genovese, "Applications of agent-based models for optimization problems: A literature review," *Expert Systems with Applications*, vol. 39,

- no. 5, pp. 6020–6028, 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2011.12.015.
- [16] G. Weiss, *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. Cambridge: MIT Press, 1999.
 - [17] C. Macal and M. North, “Introductory tutorial: agent-based modeling and simulation,” *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*. IEEE Press, pp. 6–20, 2014, Accessed: Jul. 16, 2017. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2693856>.
 - [18] S. Čavoški and A. Marković, “Agent-based modelling and simulation in the analysis of customer behaviour on B2C e-commerce sites,” *Journal of Simulation*, pp. 1–11, Oct. 2016, doi: 10.1057/s41273-016-0034-9.
 - [19] A. Marković, S. Čavoški, and A. Novović, “Analysis of Interactions of Key Stakeholders on B2C e-Markets - Agent Based Modelling and Simulation Approach,” *Organizacija*, vol. 49, no. 2, 2016, doi: 10.1515/orga-2016-0010.
 - [20] E. Shafiei, H. Thorkelsson, E. I. Ásgeirsson, B. Davidsdottir, M. Raberto, and H. Stefansson, “An agent-based modeling approach to predict the evolution of market share of electric vehicles: A case study from Iceland,” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 79, no. 9, pp. 1638–1653, 2012, doi: 10.1016/j.techfore.2012.05.011.
 - [21] M. D. Gerst *et al.*, “Agent-based modeling of climate policy: An introduction to the ENGAGE multi-level model framework,” *Environmental Modelling & Software*, vol. 44, pp. 62–75, 2013, doi: 10.1016/j.envsoft.2012.09.002.
 - [22] F. Rebaudo and O. Dangles, “An agent-based modeling framework for integrated pest management dissemination programs,” *Environmental Modelling & Software*, vol. 45, pp. 141–149, 2013, doi: 10.1016/j.envsoft.2012.06.014.
 - [23] P. Kasaie, J. R. Andrews, W. D. Kelton, and D. W. Dowdy, “Timing of Tuberculosis Transmission and the Impact of Household Contact Tracing. An Agent-based Simulation Model,” *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 189, no. 7, pp. 845–852, Apr. 2014, doi: 10.1164/rccm.201310-1846OC.
 - [24] A. Nikolopoulou and M. G. Ierapetritou, “Hybrid simulation based optimization approach for supply chain management,” *Computers & Chemical Engineering*, vol. 47, pp. 183–193, 2012, doi: 10.1016/j.compchemeng.2012.06.045.
 - [25] Clarivate Analytics, “Web of Science,” 2020. <https://apps.webofknowledge.com> (accessed Aug. 30, 2020).
 - [26] Clarivate Analytics, “KeyWords Plus generation, creation, and changes,” 2020. https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/KeyWords-Plus-generation-creation-and-changes?language=en_US (accessed Aug. 31, 2020).
 - [27] F. Lamperti, A. Roventini, and A. Sani, “Agent-based model calibration using machine learning surrogates,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 90, pp. 366–389, May 2018, doi: 10.1016/j.jedc.2018.03.011.
 - [28] H. Kavak, J. J. Padilla, C. J. Lynch, and S. Y. Diallo, “Big data, agents, and machine learning: Towards a data-driven agent-based modeling approach,” 2018.
 - [29] A. R. Vahdati, J. D. Weissmann, A. Timmermann, M. S. Ponce de León, and C. P. E. Zollikofer, “Drivers of Late Pleistocene human survival and dispersal: an agent-based modeling and machine learning approach,” *Quaternary Science Reviews*, vol. 221, p. 105867, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.quascirev.2019.105867.
 - [30] S. Hayashi, N. Prasasti, K. Kanamori, and H. Ohwada, “Improving Behavior Prediction

- Accuracy by Using Machine Learning for Agent-Based Simulation,” 2016, pp. 280–289.
- [31] U. Wilensky, “NetLogo.” Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, 1999, Accessed: Jul. 16, 2017. [Online]. Available: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
 - [32] U. Wilensky and W. Rand, *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems With NetLogo*. 2015.
 - [33] M. J. North *et al.*, “Complex adaptive systems modeling with Repast Symphony,” *Complex Adaptive Systems Modeling*, vol. 1, no. 1, p. 3, Dec. 2013, doi: 10.1186/2194-3206-1-3.
 - [34] The AnyLogic Company, “AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions for Business.” 2020, Accessed: Sep. 16, 2020. [Online]. Available: <https://www.anylogic.com/>.
 - [35] G. Piatetsky, “Python eats away at R: Top Software for Analytics, Data Science, Machine Learning in 2018: Trends and Analysis,” 2018. <https://www.kdnuggets.com/2018/05/poll-tools-analytics-data-science-machine-learning-results.html> (accessed Sep. 16, 2020).
 - [36] M. Förster, A. Mauleon, and V. J. Vannetelbosch, “Trust and manipulation in social networks,” *Network Science*. 2016, doi: 10.1017/nws.2015.34.
 - [37] G. Deffuant, D. Neau, F. Amblard, and G. Weisbuch, “Mixing beliefs among interacting agents,” *Advances in Complex Systems*, vol. 03, no. 01n04, pp. 87–98, Jan. 2000, doi: 10.1142/S0219525900000078.
 - [38] J. Desjardins, “How much data is generated each day? | World Economic Forum,” 2019. <https://www.weforum.org/agenda/2019/04/how-much-data-is-generated-each-day-cf4bddf29f/> (accessed Sep. 14, 2020).
 - [39] S. C. Matz, M. Kosinski, G. Nave, and D. J. Stillwell, “Psychological targeting as an effective approach to digital mass persuasion,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, no. 48, pp. 12714–12719, Nov. 2017, doi: 10.1073/pnas.1710966114.
 - [40] M. A. Barrett, O. Humblet, R. A. Hiatt, and N. E. Adler, “Big Data and Disease Prevention: From Quantified Self to Quantified Communities,” *Big Data*, vol. 1, no. 3, pp. 168–175, Sep. 2013, doi: 10.1089/big.2013.0027.
 - [41] L. Canullo, M. Tallarico, S. Radovanovic, B. Delibasic, U. Covani, and M. Rakic, “Distinguishing predictive profiles for patient-based risk assessment and diagnostics of plaque induced, surgically and prosthetically triggered peri-implantitis,” *Clinical Oral Implants Research*, vol. 27, no. 10, pp. 1243–1250, Oct. 2016, doi: 10.1111/clr.12738.
 - [42] Q. Shi and M. Abdel-Aty, “Big Data applications in real-time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 58, pp. 380–394, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.trc.2015.02.022.
 - [43] H. Song and H. Liu, “Predicting Tourist Demand Using Big Data,” in *Analytics in Smart Tourism Design*, Z. Xiang and D. Fesenmaier, Eds. 2017, pp. 13–29.
 - [44] A. Pérez-Martín, A. Pérez-Torregrosa, and M. Vaca, “Big Data techniques to measure credit banking risk in home equity loans,” *Journal of Business Research*, vol. 89, pp. 448–454, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.jbusres.2018.02.008.
 - [45] S.-Y. Hung, D. C. Yen, and H.-Y. Wang, “Applying data mining to telecom churn management,” *Expert Systems with Applications*, vol. 31, no. 3, pp. 515–524, Oct. 2006,

doi: 10.1016/j.eswa.2005.09.080.

- [46] M. Vukicevic, S. Radovanovic, B. Delibasic, and M. Suknovic, "Extending meta-learning framework for clustering gene expression data with component-based algorithm design and internal evaluation measures," *International Journal of Data Mining and Bioinformatics*, vol. 14, no. 2, p. 101, 2016, doi: 10.1504/IJDMB.2016.074682.
- [47] G. James, D. Witten, T. Hastie, and R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning*, 8th ed., vol. 103. New York, NY: Springer New York, 2013.
- [48] IBM, "Telco Customer Churn." 2018, [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/blastchar/telco-customer-churn/version/1>.
- [49] Python, "Welcome to Python.org," 2020. <https://www.python.org/> (accessed Sep. 29, 2020).
- [50] Jupyter, "Project Jupyter | Home," 2020. <https://jupyter.org/> (accessed Sep. 29, 2020).
- [51] F. Pedregosa *et al.*, "Scikit-learn: Machine learning in Python," *Journal of Machine Learning Research*, 2011.
- [52] Pandas Development Team, "Pandas 1.0.3," Mar. 2020, doi: 10.5281/zenodo.3715232.
- [53] S. van der Walt, S. C. Colbert, and G. Varoquaux, "The NumPy Array: A Structure for Efficient Numerical Computation," *Computing in Science & Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 22–30, Mar. 2011, doi: 10.1109/MCSE.2011.37.
- [54] J. P. Cárdenas, G. Vidal, C. Urbina, G. Olivares, P. Rodrigo, and M. Fuentes, "Social Crises: Signatures of Complexity in a Fast-Growing Economy," *Complexity*, vol. 2018, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1155/2018/9343451.

3. Полазне хипотезе

На основу анализе доступне литературе и постављеног предмета и циља истраживања, може се поставити општа хипотеза, као и посебне хипотезе докторске дисертације, које ће у раду бити потврђене или оповргнуте.

Општа хипотеза:

- Могуће је развити методолошки оквир за изградњу модела симулације засноване на агентима увођењем хибридног приступа одлучивања, који се заснива на примени алгоритама машинског учења.

Посебне хипотезе:

- У моделима симулације засноване на агентима могуће је имплементирати алгоритме машинског учења.
- Агенти могу да користе алгоритме машинског учења при одлучивању.
- Предложени приступ превазилази недостатке у моделима који су засновани на примени функције корисности.

4. Научне методе истраживања

Основне методе истраживања у докторској дисертацији ће бити прикупљање, анализа и класификација постојеће литературе, анализа садржаја и компаративна анализа, као и проучавање и систематизација теоријских и експерименталних сазнања из области моделирања и симулације, симулације засноване на агентима, машинског учења и пословног одлучивања. Поред наведеног, као основни метод истраживања у експерименталном делу рада биће коришћена метода моделирања изабраног реалног система.

У дисертацији ће, поред наведених, бити примењене и остале методе истраживања, као што су: методе дескриптивне анализе, методе индукције-дедукције, методе анализе и синтезе, статистичке методе, као и методе машинског учења.

Могућност интеграције алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима ће бити приказана на реалним примерима, уз употребу савремених софтверских решења.

5. Очекивани научни допринос

Основни допринос који се очекује од истраживања у оквиру израде докторске дисертације огледа се у развоју новог методолошког оквира за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима. Поред тога, од истраживања на изради докторске дисертације могу се очекивати додатни доприноси као што је систематизација постојећег знања у посматраној области истраживања.

На основу горе наведеног, као очекивани доприноси научној заједници могу се истаћи:

- Развој методолошког оквира за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима.
- Детаљна анализа ефеката примене предложеног методолошког оквира за моделирање одабраних система, као и поређење са другим приступима из литературе.
- Имплементација предложеног идејног решења у одабраном софтверском окружењу са анализом резултата симулације за одабране моделиране системе.
- Систематизација и преглед литературе из области моделирања и симулације засноване на агентима и машинског учења.

6. План истраживања и структура рада

Поред већ спроведеног истраживања релевантне литературе у области, планирано је да се спроведе додатна анализа употребе функције корисности у моделима симулације засноване на агентима, са посебном пажњом усмереном на њене недостатке. Такође, биће анализирани и начини одређивања тежинских коефицијената у функцији корисности у постојећим моделима. Посебна пажња биће посвећена анализи уочених проблема и недостатака код постојећих метода. У кључном делу рада биће разрађен нови методолошки оквир за замену функције корисности алгоритмима машинског учења.

Структура дисертације конципирана је тако да ће у уводном делу бити дефинисани предмет и проблем истраживања, циљеви истраживања, хипотезе и методе истраживања.

У другом поглављу биће разматране теоретске основе моделирања и симулације засноване на агентима, као методологије која ће бити у фокусу овог истраживања.

Треће поглавље обрађиваће проблеме дефинисања функције корисности у постојећим моделима са нагласком на основне недостатке оваквог приступа одлучивању агената.

У четвртом поглављу ће бити представљене методе за креирање модела одлучивања на основу историјских података, такозвани *data-driven* алгоритми, као што су алгоритми машинског учења. У оквиру овог поглавља ће бити дат осврт на значајност квалитета података.

У петом поглављу, које представља кључни део и основни допринос докторске дисертације биће предложен нови методолошки оквир који замењује функцију корисности алгоритмима машинског учења, чиме се превазилази већи број уочених проблема идентификованих у трећем поглављу. Предложени хибридни приступ се заснива на увођењу алгоритма машинског учења, које агенти користе уместо функције корисности приликом доношења одлука. У наставку поглавља, у практичном делу рада, биће представљени модели у којима је имплементиран предложени методолошки оквир из теоретског дела рада, укључујући и њихову валидацију и поређење са моделима изграђеним на начин описан у доступној литератури.

У последњем поглављу биће дата закључна разматрања, са нагласком на научни допринос рада и предлозима будућих истраживања. На крају рада биће дат списак коришћене литературе и прилози.

Оквирни садржај докторске дисертације је дат у наставку:

1. Увод

- 1.1. Предмет и циљ истраживања
- 1.2. Полазне хипотезе
- 1.3. Методе истраживања

2. Моделирање и симулација засновани на агентима

- 2.1. Процес изградње симулационог модела
- 2.2. Трендови у примени моделирања и симулације засноване на агентима
- 2.3. Коришћење алгоритама машинског учења за изградњу АБМ
- 2.4. Софтверска окружења за развој модела заснованих на агентима

3. Дефинисање функције корисности

- 3.1. Примери дефинисаних функција корисности
- 3.2. Уочени проблеми приликом дефинисања функција корисности

4. Модели одлучивања базирани на историјским подацима

5. Развој методолошког оквира за интеграцију алгоритмима машинског учења у моделе симулације засноване на агентима

6. Закључак

- 6.1. Доприноси докторске дисертације

7. Литература

8. Прилози

7. Закључак и предлог

Из изложеног се може закључити да кандидат Никола Зорнић поседује неопходна знања за успешан рад на докторској дисертацији и испуњава све услове, предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Факултета, за одобрење израде докторске дисертације под насловом „Методолошки оквир за интеграцију алгоритама машинског учења у моделе симулације засноване на агентима“. Предложена тема спада у научна подручја која се развијају на Факултету организационих наука. Тема докторске дисертације, по предмету истраживања, садржају и очекиваним доприносима, представља значајно подручје истраживања, како са теоријског, тако и са аспекта примене у пракси, у области Техничких наука, уже научне области Моделирања пословних система и пословног одлучивања.

Комисија је констатовала да кандидат Никола Зорнић испуњава формалне услове и поседује све потребне квалификације за одобравање израде докторске дисертације на предложеној теми.

На основу изнетог, Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу Факултета организационих наука да кандидату **Николи Зорнићу** одобри израду дисертације под називом:

**„Методолошки оквир за интеграцију алгоритама машинског учења
у моделе симулације засноване на агентима“**

и да се за ментора именује др Александар Марковић, редовни професор Факултета организационих наука.

У Београду, 11.12.2020.

Чланови Комисије

др Александар Марковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, ментор

др Милија Сукновић, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет организационих наука

др Борис Делибашић, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет организационих наука

др Вељко Јеремић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Факултет организационих наука

др Феђа Нетјасов, редовни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет