

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Андрије Петровића** за израду докторске дисертације

Одлуком _____ године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Андрије Петровића** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Андрија Петровић рођен је у Београду 23.08.1991. Основну школу „Љуба Ненадовић“ завршио је 2006. године у Београду, као носилац Вукове дипломе и ђак године. Средњу школу „13. београдску гимназију“ завршио је 2010. године у Београду и награђен је за изузетан успех током школовања. Основне студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је 2010. године и завршио 2013. године са просечном оценом 9,91. Мастер студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, смер Процесна техника и заштита животне средине, уписао је 2013. године и завршио 2015. године са просечном оценом 9,90. Мастер рад је одбранио са оценом 10 на тему „Концептуално решење и економска процена рада система за производњу електричне енергије на бази органског ранкиновог циклуса“. Дипломирао је на Факултету за Пословну економију Универзитета Сингидунум 2014. године, смер финансије и банкарство, са просечном оценом 9,45. Мастер студије на модулу Пословна економија завршио је 2016. године са просечном оценом 10,00. Мастер рад је одбранио са оценом 10 на тему „Динамика промене вредности емисионих дозвола и рентабилност инвестиције тригенеративног постројења“.

Тренутно је студент друге године докторских студија на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, где је положио све испите на докторским студијама и студент је треће године докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Од 2013. године је сарадник фирме „Ејектоинжењеринг Београд“ где је и учествовао на реализацији више пројеката и конструкцији већег броја техничких решења

Награђиван је за изузетан успех током студија на Машинском факултету 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15 године. Награђен је као најбољи студент на основним генерације уписане 2010/11 године, као најбољи студент на мастер академским студијама генерације уписане 2013/14 године и као најбољи студент генерације уписане 2010/11 године. Добитник награде за најбољи мастер рад на конгресу Процесинг 2016.

Био је стипендиста града Београда за 2011/12 годину, стипендиста Републике Србије за 2013/14 годину, стипендиста Фонда за младе таленте“ за 2012/13 и 2014/15 годину, стипендиста „Термоелектране Никола Тесла“ за годину 2012/13, стипендиста фирме „Ејектоинжењеринг Београд“ за 2012/13, 2013/14 и 2014/15 годину.

Учествовао је у раду летње школе организоване под покровитељством NTNU (Norwegian University of Science and Technology) у оквиру пројекта „Herd energy project - quality improvement of masters programs in sustainable energy and environment“. Био је практикант фирме „Про-инг Београд“ у периоду јун-август 2011 године. Похађао је више курсева организованих од стране фирме „Merit Plan“. У оквиру Erasmus+ програма размене студената похађао је 2. семестар прве године докторских студија школске 2015./16. на Машинском факултету Универзитета Политехника Темишвар. Стипендиран је од компаније Сага д.о.о од маја 2018 на пројекту развоја алгоритама за машинско учење заједно са професорима са Факултета организационих наука. Од Запослен је од 2016. године као истраживач-приправник у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду. У периоду 2. семестра школске 2017/18 ангажован је на настави из предмета: Индустриска логистика, Базе података и Пројектовање логистичко-дистрибутивних система.

Поседује сертификат FCE– B2 познавање енглеског језика. Служи се руским језиком. Активно користи програмерске софтвере Visual Basic, MatLab, Python, Fortran, Delphi, Eviews, Ansys - Fluent, AMPL, SQL. Зна да употребљава софтверске пакете за обраду текста MS OFFICE (Word, Excell, Power point) и Latex, софтвере за техничко цртање AutoCAD и Solid Works. Поседује возачку дозволу Б категорије

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У наставку ће бити приказани научни резултати кандидата, односно објављени радови или радови прихваћени за објављивање на конференцијама и часописима, од датума уписа докторских студија, категоризовани у складу са спецификацијом Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

M21a:

1. **A. Petrovic**, D. Lelea, and I. Laza, “The comparative analysis on using the NEPCM materials and nanofluids for microchannel cooling solutions,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 79, pp. 39-45, 2016.
2. **A. Petrovic**, J. Svorcan, A. Pejcev, D. Radenkovic, A. Petrovic "Comparison of novel variable area convergent-divergent nozzle performances obtained by analytic, computational and experimental methods." *Applied Mathematical Modelling*, vol. 57 (2018): 206-225.

3. S. Genić, B. Jaćimović, and **A. Petrovic**, "A novel method for combined entropy generation and economic optimization of counter-current and co-current heat exchangers," *Applied Thermal Engineering*, vol. 136, pp. 327-334, 2018.
4. **A. Petrovic**, M. Jovanovic, S. Genic, U. Bugaric, and B. Delibasic, "Evaluating performances of 1-D models to predict variable area supersonic gas ejector performances." *Energy*, vol. 163, 270-289, 2018.
5. **A. Petrovic**, B. Delibasic, J. Filipovic, A. Petrovic, and M. Lomovic, "Thermoeconomic and environmental optimization of geothermal water desalination plant with ejector refrigeration system," *Energy Conversion and Management*, vol. 178, 65-77, 2018.

M22:

6. M. Lomovic, **A. Petrovic**, M. Ristanovic, and A. Petrovic, "Modeling, simulation and PI gain-scheduling controller optimization of water desalination plant with liquid jet vacuum ejector", *Desalination and water treatment*, vol. 136, 96-110, 2018.
7. M. Ivosevic, **A. Petrovic**, B. Jacimovic and S. Genic, "Thermal performances and their impact on design of bayonet-tube heat exchangers – single phase plug flow", *Heat and Mass transfer*, 2019 – РАД ПРИХВАЋЕН ЗА ШТАМПУ (DOI: 10.1007/s00231-019-02568-3)

M24:

8. **A. Petrovic** and Z. Jeremic, "Regulation and trading with green house effect gases and advantages of serbia's entry in the emission market," *International Journal for Quality Research*, vol. 1, pp. 705-718, 2015.
9. **A. Petrovic**, M. Lomovic, M. Ristanovic and A. Petrovic, "Modelling, Simulation and Control of Desalination Plant with a Liquid Jet Ejector", *FME transactions*, vol 46(4) 2018

M51:

10. S. Genić, B. Jaćimović, **A. Petrović**, and N. Bošković, "Trigeneracija korišćenjem biomase - opravdanost investicije i uticaj na životnu sredinu," *KGH - klimatizacija, grejanje, hlađenje*, vol. 45, p. 94, May 2016 2016.
11. M. Božović, A. Petrović, **A. Petrović**, "Technological processing waste water using the dressing the ejector system for pretreatment," *Tehnika*, 72 (2017) 68-73.

M52:

12. A. A. Petrović and M. D. Gojak, "Procedures of water desalination with solar energy and f-chart method," *Tehnika*, vol. 70, pp. 975-981, 2015.

13. A. A. Petrović, A. L. Petrović, and L. H. Petrović, "Analysis of the ejectors for hydraulic transport of different materials and mixtures," *Tehnika*, vol. 71, pp. 242-248, 2016.

M53:

14. **A. Petrović**, A. Petrović, "Višekriterijumska optimizacija postrojenja za proizvodnju demineralizovane vode iz toplih izvora," *Procesna tehnika*, 29 (2017) 34-38.

M33:

15. **A. Petrović**, A. Petrović, A. Pejčev, and M. Šolaja, "Analiza rada ejektora sa varijabilnom mlaznicom pri mešanju prirodnog gasa i otpadnog gorivog gasa," *Procesing 2016*, p. 365, 2016.
16. **A. Petrovic**, J. Filipovic and A. Petrovic, "Optimizacija postrojenja za desalinizaciju vode sa ejektorskim rashladnim sistemom," *Procesing 2018*, p. 320
17. **A. Petrovic**, U. Bugaric, B. Delibasic and I. Ivetic, "Prediction of skiing time by structured regression algorithm", *SIE 2018*, p. 180
18. M. Lomovic, **A. Petrovic**, M. Ristanovic and A. Petrovic, "Thermo-economic optimization and control of small-scale water desalination plant", *SIE 2018*, p. 184
19. I. Laza, **A. Petrovic**, D. Lelea, and E. Laza, "THE NANOFUID THERMAL PROPERTIES INFLUENCE ON COOLING PERFORMANCE OF THE MICROCHANNEL HEAT SINK WITH IMPINGEMENT JET," *COFRET'16 - Colloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique 2016*. - Francusko, Rumunska konferencija u Budimpešti
20. **A. Petrović**, Jeremić Z., *REGULATION AND TRADING WITH GREEN HOUSE EFFECT GASES*, regionalna konferencija IEEP 2015 (Industrijska energetika i zaštita životne sredine u zemljama jugoistočne Evrope 2015), Zlatibor, ISBN 978-86-7877-025-8.

Научноистраживачки пројекти у којима је кандидат учествовао:

- Пројекат TP-35011, научни пројекат у области технолошког развоја, под називом: „Интегритет опреме под притиском при истовременом деловању замарајућег оптерећења и температуре“ – Министарство просвете науке и технолошког развоја Републике Србије. Руководилац: др Љубица Миловић, Универзитет у Београд Технолошко-металуршки факултет,

На докторским студијама кандидат је положио следеће испите (просек оцена 10,00):

- Наука о менаџменту, проф. др Мирко Вујошевић;
- Статистика у менаџменту, проф. др Милица Булајић;
- Одлучивање одабрана поглавља, проф. др Борис Делибашић;
- Квантитативни модели у менаџменту, проф. др Милица Булајић;

- Систем квалитета – одабрана поглавља, проф. др Јован Филиповић;
- Систем менаџмента животној средином, проф. др Јован Филиповић;
- Примењена нумеричка анализа, проф. др Раде Лазовић;
- Машинско учење – одабрана поглавља, доцент. др Милош Јовановић;
- Пословна интелигенција – одабрана поглавља, проф. др Борис Делибашић.

Кандидат је био ангажован као истраживач у Центру за одлучивање Факултета организационих наука и стипендиран од стране „Сага д.о.о“. Кандидат је асистент на Машинском факултету Универзитета у Београду, ангажован на предметима Операциона истраживања, Базе података, Организација производње 2, Логистички-дистрибутивни системи.

1.3.Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Узимајући у обзир:

- Досадашње **образовање** и ток **академских резултата**;
- **Истраживања** на тему структурираних регресионих и класификационих алгоритама.
- **Држања наставе на Машинском факултету** из области које су сродне предложеној теми;
- Учешћа на **научно-истраживачким пројектима**;

закључујемо да је Андрија Петровић одлично припремљен и квалификован да ову тему самостално истражује и начини доприносе у тој области.

2. Предмет и циљ истраживања

Повећањем количине и разноврсности података са корелисаним циљним атрибутима (излазним атрибутима), познатијим као структурираним циљним атрибутима, јавља се потреба за експлоатацијом додатних информација које постоје између зависних излазних атрибута, у циљу побољшања перформанси за предвиђање. Сумиран преглед великог броја структурираних класификатора за бинарну и вишеструку класификацију је приказан у [1].

Један од најбољих модела заснованих на вероватноћи за проблеме структуриране класификације су условна случајна поља (енг. „*Conditional random fields*“, скраћено CRF). Условна случајна поља су успешно примењена на низу различитих структурираних проблема као што су: препознавање ентитета имена [2], сегментација слике [3], сегментација речи [4]. Највећа предност условних случајних поља представља његову дискриминаторску природу у предвиђању, која резултује у релаксацији претпоставке о независности излазних атрибута који су временски и/или просторно повезани и смањивању велике системске пристрасности (енг. „*bias*“) која је присутна у многим графичким моделима. Поред тога могућност једноставне евалуације градијента и постојање информације о вероватноћи припадности класе, омогућили су условним случајним пољима велику популарност у различитим применама. Ипак условна случајна

поља имају и мане које се тичу сложености градијента, чија евалуација може бити изузетно рачунарски скупа посебно при учењу и закључивању. Понекад је чак и немогуће евалуирати градијент или закључивати о вредностима циљних атрибута без коришћења одређених апроксимативних метода. У циљу решавања ових недостатака развијен је велики број различитих алгоритама који су прилагођени различитим проблемима. Мешавина условних случајних поља је један од модела који је успешно примењен у многим реалним задацима и приказан је у [5].

Регресиони модели који су базирани на условним случајним пољима су у много мањој мери развијени у односу на класификационе моделе. Један од најпопуларнијих регресионих модела заснованих на условним случајним пољима има форму мултиваријационе нормалне дистрибуције и познат је као Гаусова условна случајна поља (енг. „*Gaussian conditional random fields*“, скраћено GCRF). Основна претпоставка модела је да су везе између излаза приказане у квадратној форми. Условљена случајна поља у форми мултиваријационе нормалне дистрибуције имају низ предности који се тиче: конвексности параметара у простору, једноставне форме учења и ефикасног закључивања.

Тема ове докторске дисертације је усмерена на проблем предикције гужви у комбинацији са одређивањем оптималног броја канала у будућим временским тренуцима у циљу минимизације укупних трошкова.

Данас постоји велики број научних радова на тему предвиђања гужви и протока саобраћајних возила. Услед недостатка довољно добрих доменских модела или превелике комплексности истих, поставља се потреба за коришћењем широког спектра алгоритама машинског учења. Ма и други [6] су приказали предности коришћења дубоког учења у предикцији саобраћајних гужви. На бази комбинације дубоких ограничених Болцманових машина (енг. „*Restricted Boltzmann machine*“) са рекурентним неуронским мрежама (енг. „*Recurrent Neural Network*“) и посредством историјских података добијених из ГПС сигнала такси возила, развијен је модел који има прецизност предвиђања од 88% за временски период од 6 минута у будућности. Сличан модел заснован на аутоенкодерима у комбинацији са дубоким неуронским мрежама приказан је у [7]. Већина ових модела, везе између корелираних излаза моделира посредством неуронских мрежа, тако да сам модел проналази везе између излаза [8].

Иако наведени модели успешно раде посао при предвиђању протока возила у кратким временским интервалима, поставља се питање да ли се наведени проблем може приказати као класификациони и да ли је могуће користити неки други алгоритам машинског учења где се структуриране везе између излаза могу задавати независно од начина учења алгоритма. Стога је и циљ овог рада заснован на развијању две методологије:

Први део рада базиран је на развијању методологије за класификацију базиране на новом математичком моделу класификационог алгоритма Гаусових условних случајних поља (енг. „*Gaussian conditional random fields for classification*“, скраћено GCRFC) у циљу структуриране предикције гужви на наплатним станицама. На бази протока возила

током 2017. године на аутопутевима Републике Србије у правцима Шид-Београд и Београд-Ниш развијени алгоритам ће бити валидиран посредством унакрсне валидације. Поред тога биће развијена два облика алгоритма први који је заснован на емпиријски-Бајесовском приступу учења и закључивања (енг. „*Gaussian conditional random fields for classification - Bayesian*“, скраћено GCRFCb) и други који је заснован на не Бајесовском приступу (енг. „*Gaussian conditional random fields for classification – non Bayesian*“, скраћено GCRFCnb). Услед високог трошка рачунања у фази учења алгоритма заснованог на Бајесовском приступу неопходно је увести извесне апроксимације, самим тим је у раду развијена и брза верзија Гаусових условних случајних поља за класификацију (енг. „*Gaussian conditional random fields for classification – Bayesian fast*“, скраћено GCRFCb-fast). Поред валидације алгоритма на проблему предикције гужви на аутопутевима, генерализација истих на сличним проблемима приказана је и на другим скуповима података. Поред тога показана је и метода комбинације регресионих и класификационих Гаусових условних случајних поља у циљу предикције средње просечне брзине возила на наплатним рампама у неком периоду у будућности.

Други део рада базира се на развијању методологије одређивања оптималног броја наплатних рампи који треба да буде отворен у будућности на некој наплатној станици. Овај процес се заснива на комбинацији рекурентних неуронских мрежа и теорије редова. Коришћена је архитектура рекурентних неуронских мрежа позната као дугачка-кратка меморија (енг. „*Long-short term memory*“, скраћено LSTM). Посредством рекурентних мрежа предвиђани су средњи интензитети доласка јединица у систем који су коришћени као улазни параметри за симулацију нестационарног Марковљевог ланца са континуалним временом и дискретним стањима. Симулацијом су добијени параметри који су даље коришћени при одређивању оптималног броја наплатних станица на бази минимизације укупних трошкова који се састоје од трошкова чекања и трошкова опслуживања.

Имајући у виду горе наведене чињенице дефинисани су:

Општи циљ истраживања подељен је на два дела:

1. Развој методологије за предикцију гужви на наплатним рампама базираног на новоформираном математичком моделу класификације помоћу Гаусових условних случајних поља, чији је циљ да побољшају предикцију у односу на неструктуриране предикторе.
2. Развој методологије која комбинује рекурентне неуронске мреже са теоријом редова у циљу динамичког одређивања броја канала опслуживања који треба да буде отворен у будућности.

Посебан циљ истраживања, које подразумева дефинисање праваца истраживања докторске дисертације, односно разраду општем циља, је:

1. Дефинисање метода за ненадгледано одређивање границе помоћу којег се стања могу класификовати као "гужва" или "није гужва".

2. Развијање алгоритама за убрзање Гаусових условних случајних поља заснованог на Бајесовском приступу.
3. Генерализација развијених алгоритама за предикцију гужви, помоћу тестирања истих на примерима из других домена.
4. Комбиновање рекуренте мреже у циљу предикције параметара дистрибуције времена долазака возила.
5. Моделовање система опслуживања и одређивање оптималног броја наплатних рампи који треба да буде отворен.

Радови попут [9, 10] су већ показали да постоје различити начини и могућности предикције гужви у системима масовног опслуживања, међутим претраживањем литературе није приказана могућност искоришћења структурираних стохастичких модела ради одређивања постојања гужви у системима масовног опслуживања који су просторно и временски повезани. Такође, нигде није пронађена методологија где се теорија редова повезује са алгоритмима предикције у циљу оптимизације броја отворених канала опслуживања (наплатних рампи). Стога ће ова дисертације допринети унапређивању дефинисаних проблема.

Референце:

1. Su, H., *Multilabel Classification through Structured Output Learning-Methods and Applications*. 2015.
2. Cotterell, R. and K. Duh. *Low-Resource Named Entity Recognition with Cross-Lingual, Character-Level Neural Conditional Random Fields*. in *Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 2: Short Papers)*. 2017.
3. Zhang, P., et al., *Hierarchical conditional random fields model for semisupervised SAR image segmentation*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015. **53**(9): p. 4933-4951.
4. Zia, H.B., A.A. Raza, and A. Athar, *Urdu Word Segmentation using Conditional Random Fields (CRFs)*. arXiv preprint arXiv:1806.05432, 2018.
5. Kim, M., *Mixtures of conditional random fields for improved structured output prediction*. IEEE transactions on neural networks and learning systems, 2017. **28**(5): p. 1233-1240.
6. Ma, X., et al., *Large-scale transportation network congestion evolution prediction using deep learning theory*. PloS one, 2015. **10**(3): p. e0119044.
7. Lv, Y., et al., *Traffic flow prediction with big data: A deep learning approach*. IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, 2015. **16**(2): p. 865-873.
8. Kumar, K., M. Parida, and V. Katiyar, *Short term traffic flow prediction for a non urban highway using artificial neural network*. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013. **104**: p. 755-764.
9. Fan, S.-K.S., et al., *Using machine learning and big data approaches to predict travel time based on historical and real-time data from Taiwan electronic toll collection*. Soft Computing, 2018. **22**(17): p. 5707-5718.
10. Zhao, J., et al., *Highway Travel Time Prediction Using Sparse Tensor Completion Tactics and-Nearest Neighbor Pattern Matching Method*. Journal of Advanced Transportation, 2018. **2018**.

3. Полазне хипотезе

На основу претходно дефинисаних проблема и циља истраживања дефинисане су следеће хипотезе:

Општа хипотеза

X(0) – Интеграција машинског учења и теорије редова чекања доприноси унапређењу методологије за решавање проблема предикције гужви и одређивања оптималног броја канала опслуживања које треба да буду отворене у будућности.

Посебне хипотезе

X(1) – Креирање и развој математичких модела за класификацију заснованог на Гаусовим условним случајним пољима показује статистички боље резултате у односу на класичне моделе за предвиђање гужви. Биће развијена три алгоритма, два заснована на Бејесовском приступу закључивања и учења и један заснован на не-Бајесовском приступу.

Већина савремених алгоритама који спадају у класу стохастичких графичких модела немају једноставну форму при закључивању и учењу те се стога морају користити многе апроксимационе технике које нису једноставне и релативно су рачунски захтевне. Стога Гаусова условна случајна поља имају низ предности у односу на остале алгоритме, што је наравно узроковано њиховом каноничком формом која се може приказати у облику мултиваријационе нормалне дистрибуције. Самим тим могућност експлоатације неструктурираних предиктора заједно са временским и просторним везама између излаза омогућава овим алгоритмима добру подлогу да се у истој форми примене и на класификационе проблеме. Стога је и изабрана ова репрезентација модел у циљу предикције гужви.

X(2) – Комбинација регресионих и класификационих алгоритама у циљу одређивања битних статистика за предикцију гужви може додатно унапредити моделе за предвиђање гужви.

У случају када се у подацима континуалног типа налази велики број нула регресиони модели неће давати довољно добре резултате. Стога се у овој дисертацији комбинује класификација у циљу одређивања места где су битне статистике (средња просечна брзина возила у будућности) једнаке нули. Елиминацијом ових наплатних станица врши се предикција континуалних статистика за остале наплатне станице чиме се добијају много бољи резултати. Исти процес се понавља и у процесу учења алгоритама. На овај начин регресиони алгоритам учи параметре само за оне атрибуте код којих је излазна промена различита од 0.

X(3) – Комбинација предикције параметара дистрибуције односно средњег интензитета доласка возила у комбинацији са симулацијом (теорија редова) омогућава одређивање оптималног броја канала опслуживања који треба да буде отворен у будућности.

Два најбитнија трошка, чија сума чини укупне трошкове су трошкови чекања и трошкови опслуживања. Отварањем максималног броја канала опслуживања трошкови чекања се минимизују али трошкови опслуживања су максимални, стога и треба наћи оптималан број наплатних рампи где су укупни трошкови минимални. Циљ је одредити колики број канала опслуживањ треба да буде отворен у неком периоду у будућности. Стога је неопходно прогнозировати посредством рекурентних мрежа параметре које су битни за симулацији преко које се могу одредити укупни трошкови и самим тим оптимизовати број отворених канала опслуживања у неком тренутку у будућности.

4. Научне методе истраживања

Основне методе истраживања које ће се користити при решавању постављеног проблема су следеће:

- **Метода дескрипције** која ће се користити за описивања појава и процеса од интереса, уз објашњења важних обележја описаних појава и процеса, уочавање законитости и узрочних веза и односа;
- **Метода анализе** ће се употребљавати кроз поступак научног истраживања рашчлањивањем сложених појмова, судова и закључака на њихове једноставније саставне делове и елементе, односно кроз поступак мишљења од посебног ка општег;
- Примена **метода синтезе** ће се примењивати путем спајања једноставних судова у сложеније и кроз процес уопштавања, чиме ће се доћи до систематизованог знања, односно до изградње теоријског знања у правцу од посебног ка општем;
- **Метода компилације** која подразумева критичко разматрање туђих опажања, ставова и закључака, односно њиховог научно-истраживачког рада, а како би дисертација у највећој мери носила лични печат аутора, који ће коректно и на уобичајен начин цитирати сваки материјал који је преузео;
- **Компаративна метода** ће се користити кроз поступак упоређивања резултата модела, а ради утврђивања њихове сличности у понашању и разлика међу њима;
- **Математичка метода** ће се употребити кроз системски поступак који се састоји у примени математичке логике, релација, симбола и операција у научно-истраживачком раду;
- **Метода моделирања** која ће се применити кроз развој модела који треба да представља стварну појаву, а који се експериментално истражује са циљем да се добијени резултати и модели могу пренети и на реалну појаву;
- **Метода мерења** која ће се користити са циљем да се добију резултати предложених решења (модела), који ће служити за поређење квалитета различитих решења;
- **Статистичка метода** ће се примењивати ради утврђивања статистичке значајности перформанси различитих алгоритама.

Експерименти ће се спроводити на истој, јасно дефинисаној хардверској и софтверској инфраструктури чиме ће се омогућити транспарентност и поновљивост свих експеримената, а сва поређења ће бити фер и коректна. Сви експерименти ће се

проверавати на што већем броју примера, како закључци не би били појединачни, већ генерални.

5. Очекивани научни допринос

Најзначајнији допринос дисертације је развој две методологије које се тичу предикције гужве у комплексним системима масовног опслуживања и одређивања оптималног броја отворених канала опслуживања у будућности. Прво ће бити развијена методологија која ће се заснивати на новоразвијеним структурираним класификационим алгоритмима заснованим на Гаусовим условним случајним пољима. Затим ће се показати могућности комбинације регресионих и класификационих алгоритама у циљу предикције гужви. Евалуација рада развијених алгоритама и предности и мане биће детаљно продискутовани и емпиријски евалуирани. Друго, биће развијена методологија која се заснива на комбинацији машинског учења заједно са теоријом редова у циљу одређивања оптималног броја канала опслуживања који треба да буде отворен у будућности.

Укупни научни допринос дисертације ће се огледати у следећем:

1. Преглед савремених начина за предикцију гужви у системима масовног опслуживања.
2. Развој методологије за предикцију гужви на наплатним станицама.
 - a. Развој математичког модела за структурирану предикцију гужви базираног на Гаусовим условним случајним пољима.
 - b. Развоје методе за комбинацију класификационих и регресионих структурираних предиктора у циљу одређивања статистика при предикцији гужви.
 - c. Евалуација рада развијених алгоритама и њихово међусобно поређење посредством унакрсне валидације.
 - d. Генерализација развијених алгоритама на примерима из других области.
3. Развој методологије за одређивање оптималног броја отворених канала опслуживања у будућности.
 - a. Повезивање алгоритама машинског учења са теоријом редова односно моделима система опслуживања
 - b. Симулација и приказ примене развијене методологије за одређивање оптималног броја канала опслуживања.

Рад на дисертацији ће резултовати додатним доприносом, као што је подизање нивоа опште стручне свести о могућностима искоришћења алгоритама за машинско учење при решавању одређених доменских проблема где остале методе нису биле довољно успешне. Поред тога рад ће утицати на отварање видика који се тичу развијања методологија комбинацијом две области које нису сродне али заједно могу допринети решењу комплексних проблема.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се спровести преко фаза које су дате у табели 1:

Табела 1. Динамика даљег истраживања

ФАЗА	ЗАДАЦИ	МЕТОДЕ, ТЕХНИКЕ, СТАНДАРДИ
1. Анализа постојећих метода и решења из области	Прикупљање информација и анализа метода	Претраживање стручне литературе Претраживање електронских база научних радова Студије случаја
2. Обезбеђивање скупова података за анализу	Проналажење скупова података из области истраживања	Коришћење постојећих база података Претраживање доступних база података за генерализацију алгоритама Студије случаја
3. Формирање скупа података и прављење атрибута	Формирање нових атрибура из скупова података за деонице аутопутева Одређивање границе гужви неопходне за маркирање инстанци при класификацији Одређивање дистрибуције времена долазака и опслуживања и одговарајуће циљне статистике које зависе од дистрибуције	Програмски језик Python Библиотеке: Pandas, matplotlib

4. Развој алгоритама и метода	Дефинисање и развој алгоритама за класификацију Дефинисање и развој методе комбиноване класификације и регресије Имплементација рекурентних мрежа у комбинацији са теоријом редова (симулација) Тестирање на синтетичком скупу података	Стручна литература Програмски језик Python
5. Тестирање и евалуација резултата	Тестирање и оцена резултата Статистичка анализа резултата Поређење са резултатима из литературе	Стручна литература Програмски језик Python

7. Закључак и предлог

Закључујемо да је предложена тема „Развој интегрисаног модела за предикцију гужви и одређивање оптималног броја активних канала у модулу.“ актуелна и релевантна у датој ужој научној области моделирање пословних система и пословно одлучивање, као и да су очекивани научни доприноси интересантни како научној, тако и стручној заједници.

Кандидат Андрија Петровић, на основу претходног образовања, истраживачког рада, извођења наставе, учешћа у пројектима и другим активностима из области предложене теме доктората, поседује знања, искуства и квалификације да самостално истражује тему.

Као ментори се предлажу проф. др Борис Делибашић, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду и проф. др Угљеша Бугарић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Милија Сукновић
редовни професор
Факултет организационих наука
Универзитета у Београду

Проф. др Драгана Макајић-Николић
редовни професор
Факултет организационих наука
Универзитета у Београду

Доцент др Милош Јовановић
доцент
Факултет организационих наука
Универзитета у Београду

Проф. др Угљеша Бугарић
редовни професор
Машински факултет
Универзитета у Београду

Проф. др Борис Делибашић
редовни професор
Факултет организационих наука
Универзитета у Београду