

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Факултет организационих наука

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Невене Миленковић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука-Универзитета у Београду 05-01 бр. 3/87-11 од 11.09.2025. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Невене Миленковић** под насловом:

„Развој алгоритама машинског учења за откривање унутар-секвенцијалних периодичних правила и скупова ставки са динамичном променом предзнака корисности”

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Невена Миленковић рођена је 27.06.1992. године у Јагодини. Завршила је основну школу и гимназију општег смера у Свилајнцу. Основне студије на смеру Информациони системи и технологије на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, завршила је 2015. године.. На истом факултету је 2017. године је завршила и мастер студије на смеру Менаџмент и организација. Докторске студије на Факултету организационих наука Универзитета у Београду уписује 2017. године, на студијском програму Информациони системи и квантитативни менаџмент, модул Софтверско инжењерство.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У наставку ће бити приказане научноистраживачке активности кандидата. Оне обухватају радове објављене на конференцијама и у часописима, од године уписа докторских студија, активности у извођењу наставе и преглед положених испита.

Радови објављени у научним часописима међународног значаја - M20

1. **Milenković, N., Delibašić, B.** PISRuleGrowth: mining periodic intra-sequential rules common to multiple sequences. Knowl Inf Syst 67, 6071–6114 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10115-025-02401-w> **M21**

Следи списак положених предмета на докторским студијама са оценама и ЕСПБ бодовима:

Називи предмета	Оцена	ЕСПБ
Одлучивање - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Алати и методе софтверског инжењерства - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Машинско учење - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Софтверски процес и одржавање софтвера - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Тестирање софтвера - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Пројектовање софтвера - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Прикупљање софтверских захтева	10 (десет)	10
Вештачка интелигенција	10 (десет)	10
Откривање законитости у базама података	10 (десет)	10

Кандидат је дана 14.10.2025. године успешно одбранила приступни рад за израду докторске дисертације под називом „Развој алгоритама машинског учења за откривање унутар-секвенцијалних периодичних правила и скупова ставки са динамичном променом предзнака корисности”.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Узимајући у обзир:

- резултате остварене током досадашњег образовања;
- резултате истраживања на тему алгоритама за откривање правила и образаца у секвенцијалним и трансакционим базама података која су публикована у научним часописима;

закључује се да је Невена Миленковић у потпуности квалификована и припремљена да тему докторске дисертације самостално истражује и пружи научно-стручне доприносе у тој области.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације представља свеобухватну анализу, развој, методолошко утемељење и ригорозну експерименталну евалуацију два иновативна алгорита машинског учења, чији је примарни задатак превазилажење кључних методолошких и практичних ограничења у домену откривања законитости у подацима (Data Mining). Први део истраживања обухвата детаљан развој алгорита PISRuleGrowth, концентрисаног на откривање нове категорије образаца, периодичних унутар-секвенцијалних правила. Други део истраживања се односи на развој алгорита МЕНАУРМ, којим се унапређују постојеће методе за откривање скупова ставки високо-просечне корисности у базама података са динамички променљивим предзнаком корисности (мешовитим профитом), решавајући проблеме нетачне евалуације у финансијским трансакцијама.

Основни проблем овог истраживања произилази из ограничења традиционалних модела у моделовању динамичности и структурне сложености реалних података, која се манифестују кроз два кључна изазова. Први изазов се односи на методолошку ограниченост постојећих приступа у области секвенцијалног откривања правила. Наиме, савремени алгоритми за откривање секвенцијалних правила (Sequential Rule Mining) учесталост правила мере искључиво на нивоу целе секвенце, што значи да се свако правило евидентира само једном, без обзира на број његових реалних појава унутар посматране секвенце. Овакво ограничење узрокује систематско потцењивање стварне учесталости правила, будући да се њихове вишеструке појаве унутар појединачне секвенце не евидентирају. Због тога се губи могућност да се прецизно процени реална заступљеност и значај тих правила у бази података. Такође, постојећи алгоритми нису способни да идентификују образце који показују регуларност и периодичност, како унутар појединачне секвенце (нпр. понављајуће понашање једног ентитета), тако и кроз више секвенци (нпр. слични обрасци понашања код више ентитета). Овим ограничењем се губи могућност откривања структурно значајних и понављајућих образаца у бази, што је кључно за дубинску анализу сложених секвенцијалних и трансакционих података.

Други критични изазов припада области откривања скупова високе корисности, где се јавља проблем нетачне евалуације корисности када база садржи ставке са променљивим предзнаком корисности. Постојећи алгоритми често дају нетачне резултате јер се прекомерно ослањају на трансакциону тоталну корисност (Transaction Weighted Utility) као горњу границу за елиминацију ставки. Ова зависност, иако је примарно уведена ради оптимизације брзине претраге, на крају доводи до погрешног елиминисања валидних скупова ставки који, иако садрже артикле са негативном корисности у одређеним трансакцијама, ипак формирају високопрофитабилне комбинације када се посматрају заједно. Наведена методолошка мањкавост посебно долази до изражаја у финансијским скуповима података који садрже артикла са мешовитим вредностима корисности. Ова ситуација је типична током периода распродаја или промотивних акција, при чему артикли динамички мењају свој предзнак профита, што доводи до значајног нарушавања интегритета добијених аналитичких резултата. Ова два проблема заједно представљају значајан научни и методолошки јаз који захтева иновативни и темељно проверени одговор.

Сходно дефинисаним проблемима, мотивација за ово истраживање је дубоко укореењена у потреби да се унапреди практична применљивост алгоритама из ових области у индустријама које генеришу секвенцијалне и трансакционе податке, као што су електронска трговина, маркетинг, и логистика. Академска мотивација се огледа у потреби за систематским развојем алгоритама који су и ефикасни и интерпретабилни. Алгоритми који откривају секвенцијална правила и скупове ставки високе корисности задржавају своју високу интерпретабилност, што је кључно за примену у областима где је транспарентност одлуке неопходна. Практична мотивација проистиче из еволуције пословних захтева, који све више изискују робусне аналитичке моделе способне да обезбеде високу прецизност и суштинско разумевање података. Пословни процеси, укључујући креирање персонализованих маркетиншких кампањи, анализу потрошачке корпе и оптимизацију сезонских промоција, захтевају способност модела да идентификују образце понашања на нивоу појединца и на нивоу група корисника, као и да прецизно уоче периодичност и процене профитабилност. Ограниченост постојећих алгоритама да ефикасно детектују периодичност у понашању корисника, као и да адекватно обраде мешовити профит, представљају кључне практичне препреке приликом доношења оптималних стратешких одлука.

Повезујући тему са актуелним глобалним трендовима, ово истраживање долази у тренутку када се драматично повећава сложеност података, посебно у домену анализе понашања где се интеракције корисника бележе као дуге и сложене секвенце. Ова сложеност захтева не само скалабилност, већ и методолошку прецизност коју традиционални алгоритми не могу да пруже. Управо та методолошка потреба за прецизним обрађивањем временских и вредносних

зависности креира научни јаз који се овим радом настоји попунити, пружајући напредне алате за обраду ових комплексних структура. Решавање проблема откривања унутар-секвенцијалних правила, праћења периодичности и тачне обраде мешовите корисности директно утиче на друштвене потребе, посебно у контексту интерпретабилности резултата. За разлику од модерних приступа машинском учењу који често функционишу као "црне кутије", ови алгоритми генеришу јасно дефинисана правила која су директно разумљива људским оператерима. Тамо где се аутоматизују одлуке које утичу на грађане (нпр. кредитни рејтинг, медицинска дијагностика, социјална помоћ), могућност да се добије јасно и разумљиво правило или образац (а не само проценат вероватноће) осигурава транспарентност, омогућава верификацију и смањује ризик од уграђене пристрасности. Дакле, побољшање квалитета и интерпретабилности ових правила доприноси ефикаснијој алокацији ресурса, бољем разумевању потрошачке етике и осигуравањем веће одговорности система вештачке интелигенције.

Теоријска основа овог рада изграђена је на детаљној и критичкој синтези постојећих научних радова, са примарним циљем да се идентификују и превазиђу кључни недостаци, уз задржавање ефикасности модела. У погледу секвенцијалног откривања правила, утврђено је да већина модела инхерентно занемарује унутар-секвенцијалну учесталост и периодичност. Међутим, ови концепти су успешно развијени и примењени у сродној, али методолошки одвојеној, области откривања периодичних образаца (Periodic Pattern Mining). Управо су ови зрели концепти послужили као главни теоријски оквир за формализацију нове врсте периодичних унутар-секвенцијалних правила, којима се значајно проширују могућности секвенцијалне анализе. Критичка анализа постојеће литературе у овој области потврђује да је актуелни приступ недовољно робустан за адекватну обраду понављајућих образаца унутар једне секвенце, што имплицира потребу за увођењем нових метрика и структура података.

С друге стране, у домену откривања скупова ставки високе корисности, детаљна студија алгоритама за обраду негативних вредности показала је да они неадекватно функционишу у динамичким условима, посебно због погрешне процене горњих граница и претпоставке о статичности профита. Стога је неопходно усвајање приступа високо-просечне корисности (High-Average Utility Mining), који се у овом раду проширује кроз иновативне технике обраде динамичких мешовитих вредности профита, што омогућава много реалнију меру исплативости и прецизнију калкулацију корисности у реалним условима. Овај методолошки помак је кључан за елиминисање грешака које су произилазиле из прекомерне употребе TWU граница, при чему се у овом раду предлаже замена употребе TWU границе ефикаснијим техникама скраћивања које се боље носе са варијацијама корисности. Кључни концепти детаљно обрађени у раду су периодичност секвенцијалних правила, унутар-секвенцијална учесталост правила и динамичка обрада мешовитих вредности профита.

Полазећи од утврђених истраживачких проблема, академског оквира и критичке анализе постојеће литературе, основни циљ ове докторске дисертације је развој, имплементација и валидација два иновативна алгорита машинског учења — **PISRuleGrowth** и **MEHAUPM**. На тај начин се настоји обезбедити методолошки засновано решење за два суштинска проблема у домену откривања законитости у подацима. Остварење овог циља захтева, поред формалног утемељења, и спровођење опсежне компаративне анализе перформанси (укључујући време извршавања и потрошњу меморије) и квалитативних карактеристика генерисаних образаца (укључујући тачност, информативност и број генерисаних скупова) у односу на водећа постојећа решења. Овај део истраживања ће прецизно утврдити како се предложени модели понашају под различитим условима густине података и различитим праговима, чиме ће се доћи до објективних закључака о њиховој применљивости.

Почетна листа библиографских извора који ће се користити приликом израде докторске дисертације:

- [1] Lo D, Khoo SC, Wong L (2009) Non-redundant sequential rules—theory and algorithm. *Inf Syst* 34(4–5):438–453
- [2] Fournier-Viger P, Faghihi U, Nkambou R, Nguifo EM (2010) CMRULES: an efficient algorithm for mining sequential rules common to several sequences. In: FLAIRS conference
- [3] Fournier-Viger P, Nkambou R, Tseng VSM (2011) RuleGrowth: mining sequential rules common to several sequences by pattern-growth. In: *Proceedings of the 2011 ACM symposium on applied computing*, pp 956–961
- [4] Fournier-Viger P, Gueniche T, Zida S, Tseng VS (2014) ERMiner: sequential rule mining using equivalence classes. In: *Advances in intelligent data analysis XIII: 13th international symposium, IDA 2014, Leuven, Belgium, October 30–November 1, 2014. Proceedings 13*, Springer International Publishing, pp 108–119
- [5] Fournier-Viger P, Wu C. W., Tseng, V. S., & Nkambou, R. (2012). Mining sequential rules common to several sequences with the window size constraint. In: *Advances in artificial intelligence: 25th Canadian conference on artificial intelligence, Canadian AI 2012, Toronto, ON, Canada, May 28–30, 2012. Proceedings 25*, Springer Berlin Heidelberg, pp 299–304
- [6] Fournier-Viger P, Tseng VS (2011) Mining top-k sequential rules. In: *Advanced data mining and applications: 7th international conference, ADMA 2011, Beijing, China, December 17–19, 2011, proceedings, part II 7*, Springer Berlin Heidelberg, pp 180–194
- [7] Fournier-Viger P, Tseng VS (2013) TNS: mining top-k non-redundant sequential rules. In: *Proceedings of the 28th annual ACM symposium on applied computing*, pp 164–166
- [8] Fournier-Viger P, Lin CW, Duong QH, Dam TL, Ševčík L, Uhrin D, Voznak M (2017) PFPM: discovering periodic frequent patterns with novel periodicity measures. In: *Proceedings of the 2nd Czech-China scientific conference 2016*, Intech Open
- [9] Fournier-Viger P, Lin JCW, Duong QH, Dam TL (2016) PHM: mining periodic high-utility itemsets. In: *Advances in data mining. Applications and theoretical aspects: 16th industrial conference, ICDM 2016, New York, NY, USA, July 13–17, 2016. Proceedings 16*, Springer International Publishing, pp 64–79
- [10] Fournier-Viger P, Li Z, Lin JCW, Kiran RU, Fujita H (2019) Efficient algorithms to identify periodic patterns in multiple sequences. *Inf Sci* 489:205–226
- [11] Fournier-Viger P, Yang P, Lin JCW, Kiran RU (2019) Discovering stable periodic-frequent patterns in transactional data. In: *Advances and trends in artificial intelligence. From theory to practice: 32nd international conference on industrial engineering and other applications of applied intelligent systems, IEA/AIE 2019, Graz, Austria, July 9–11, 2019, Proceedings 32*, Springer International Publishing, pp 230–244
- [12] Fournier-Viger P, Yang P, Li Z, Lin JCW, Kiran RU (2020) Discovering rare correlated periodic patterns in multiple sequences. *Data Knowl Eng* 126:101733
- [13]] Liu, Y., Liao, W. K., & Choudhary, A. (2005). A two-phase algorithm for fast discovery of high utility itemsets. In *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining: 9th Pacific-Asia Conference, PAKDD 2005, Hanoi, Vietnam, May 18–20, 2005. Proceedings 9* (pp. 689–695). Springer Berlin Heidelberg.
- [14] Hu, J., & Mojsilovic, A. (2007). High-utility pattern mining: A method for discovery of high-utility item sets. *Pattern Recognition*, 40(11), 3317–3324.
- [15] Ahmed, C. F., Tanbeer, S. K., Jeong, B. S., & Lee, Y. K. (2009, February). Efficient mining of utility-based web path traversal patterns. In *2009 11th International Conference on Advanced Communication Technology* (Vol. 3, pp. 2215–2218). IEEE.

- [16] Ahmed, C. F., Tanbeer, S. K., & Jeong, B. S. (2011). A framework for mining high utility web access sequences. *IETE technical review*, 28(1), 3-16.
- [17] Shie, B. E., Hsiao, H. F., Tseng, V. S., & Yu, P. S. (2011). Mining high utility mobile sequential patterns in mobile commerce environments. In *Database Systems for Advanced Applications: 16th International Conference, DASFAA 2011, Hong Kong, China, April 22-25, 2011, Proceedings, Part I* 16 (pp. 224-238). Springer Berlin Heidelberg.
- [18] Zihayat, M., Davoudi, H., & An, A. (2017). Mining significant high utility gene regulation sequential patterns. *BMC systems biology*, 11, 1-14.
- [19] Lin, Y. F., Huang, C. F., & Tseng, V. S. (2017). A novel methodology for stock investment using high utility episode mining and genetic algorithm. *Applied Soft Computing*, 59, 303-315.
- [20] Liang, S., Liu, Y., Jian, L., Gao, Y., & Lin, Z. (2011, August). A utility-based recommendation approach for academic literatures. In *2011 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology* (Vol. 3, pp. 229-232). IEEE.
- [21] Gan, W., Lin, J. C. W., Fournier-Viger, P., Chao, H. C., & Fujita, H. (2018). Extracting non-redundant correlated purchase behaviors by utility measure. *Knowledge-Based Systems*, 143, 30-41.
- [22] Jabbar, M. A., Deekshatulu, B. L., & Chandra, P. (2015, December). A novel algorithm for utility-frequent itemset mining in market basket analysis. In *Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications: Proceedings of the 6th International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications (IBICA 2015) held in Kochi, India during December 16-18, 2015* (pp. 337-345). Cham: Springer International Publishing.
- [23] Demir, S., Alkan, O., Cekinel, F., & Karagoz, P. (2019). Extracting potentially high profit product feature groups by using high utility pattern mining and aspect based sentiment analysis. *High-Utility Pattern Mining: Theory, Algorithms and Applications*, 233-260.
- [24] Kavitha, V., & Geetha, B. G. (2016). High Utility Itemset Mining with Influential Cross Selling Items from Transactional Database. *Int J Adv Engg Tech/Vol. VII/Issue II/April-June*, 820, 826.
- [25] Weng, C. H. (2016). Discovering highly expected utility itemsets for revenue prediction. *Knowledge-Based Systems*, 104, 39-51.
- [26] Lan, G. C., Hong, T. P., & Tseng, V. S. (2011). Discovery of high utility itemsets from on-shelf time periods of products. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5851-5857.
- [27] Mondal, A., Mittal, R., Khandelwal, V., Chaudhary, P., & Reddy, P. K. (2021, October). PEAR: a product expiry-aware and revenue-conscious itemset placement scheme. In *2021 IEEE 8th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)* (pp. 1-10). IEEE.
- [28] Gan, W., Chen, G., Yin, H., Fournier-Viger, P., Chen, C. M., & Yu, P. S. (2022). Towards revenue maximization with popular and profitable products. *ACM/IMS Transactions on Data Science (TDS)*, 2(4), 1-21.
- [29] Chu, C. J., Tseng, V. S., & Liang, T. (2009). An efficient algorithm for mining high utility itemsets with negative item values in large databases. *Applied Mathematics and Computation*, 215(2), 767-778.
- [30] Fournier-Viger, P. (2014). FHN: efficient mining of high-utility itemsets with negative unit profits. In *Advanced Data Mining and Applications: 10th International Conference, ADMA 2014, Guilin, China, December 19-21, 2014. Proceedings* 10 (pp. 16-29). Springer International Publishing.
- [31] Singh, K., Shakya, H. K., Singh, A., & Biswas, B. (2018). Mining of high-utility itemsets with negative utility. *Expert Systems*, 35(6), e12296.

- [32] Gan, W., Wan, S., Chen, J., Chen, C. M., & Qiu, L. (2020, December). TopHUI: Top-k high-utility itemset mining with negative utility. In 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (pp. 5350-5359). IEEE.
- [33] Ashraf, M., Abdelkader, T., Rady, S., & Gharib, T. F. (2022). TKN: an efficient approach for discovering top-k high utility itemsets with positive or negative profits. *Information Sciences*, 587, 654-678.
- [34] Lai, F., Zhang, X., Chen, G., & Gan, W. (2023). Mining periodic high-utility itemsets with both positive and negative utilities. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123, 106182
- [35] Lin, J. C. W., Ren, S., Fournier-Viger, P., & Hong, T. P. (2017). EHAUPM: Efficient high average-utility pattern mining with tighter upper bounds. *IEEE Access*, 5, 12927-12940.
- [36] Agrawal R, Srikant R (1995) Mining sequential patterns. In: Proceedings of the 11th international conference on data engineering. IEEE, pp, 3–14
- [37] SPMF: A Java open-source data mining library. Datasets. [SPMF: A Java Open-Source Data Mining Library](#)
- [38] UCI machine learning repositories. Datasets. [Datasets - UCI Machine Learning Repository](#)
- [39] Data Mining Cup. (n.d.). *Data Mining Cup*. Retrieved July 12, 2025, from <https://www.data-mining-cup.com/>
- [40] Tableau. (n.d.). *Global Superstore* [Data file]. Tableau. Retrieved July 12, 2025, from http://www.tableau.com/sites/default/files/training/global_superstore.zip

3. Полазне хипотезе

Главна хипотеза која ће бити тестирана у раду је да ће предложени алгоритми, PISRuleGrowth за откривање периодичних унутар-секвенцијалних правила и МЕНАУРМ за откривање скупова ставки високо-просечне корисности са ставкама које динамички мењају предзнак корисности, постићи боље перформансе и дати прецизније резултате од постојећих решења. Овај приступ ће унапредити методологију откривања образаца у својим специфичним доменама.

На основу ове главне хипотезе, издвајају се и две посебне хипотезе. Прва хипотеза, H0.1, тврди да ће PISRuleGrowth алгоритам ефикасно проналазити периодична унутар-секвенцијална правила која су релевантнија и информативнија у поређењу са традиционалним алгоритмима. Друга хипотеза, H0.2, предвиђа да ће МЕНАУРМ алгоритам прецизно идентификовати скупове ставки високо-просечне корисности, чак и у трансакцијама са мешовитим позитивним и негативним вредностима ставки, чиме ће решити проблеме нетачности присутне код постојећих алгоритама.

4. Научне методе истраживања

За потребе овог истраживања, користиће се комбинација научних метода како би се обезбедио свеобухватан и поуздан приступ. На самом почетку, применом аналитичко-дедуктивне методе извршиће се преглед релевантне научне литературе и постављање чврстог истраживачког оквира. Након тога, метода развоја софтвера биће примењена за практичну реализацију предложених алгоритама, уз детаљно документовање сваке фазе.

Централни део методологије представљаће експериментална метода. Њоме ће се извршити ригорозно тестирање и евалуација развијених алгоритама на одговарајућим реалним скуповима података. Добијени резултати ће затим бити подвргнути компаративној анализи, у којој ће се перформансе предложених алгоритама директно упоредити са перформансама постојећих, референтних решења. Коначно, статистичке методе ће се користити за обраду и

анализу експерименталних података, што ће омогућити потврђивање постављених хипотеза и извођење објективних закључака.

5. Очекивани научни допринос

Научни и методолошки доприноси овог рада могу се сагледати у два међусобно повезана правца. Први се односи на увођење и формалну дефиницију нове категорије правила – периодичних унутар-секвенцијалних правила (ПУС правила), која задржавају висок ниво интерпретабилности и омогућавају доносиоцима одлука директно разумевање откривених образаца. Ова правила први пут интегришу концепте периодичности и унутар-секвенцијалне учесталости, чиме се отвара нова методолошка димензија за детекцију образаца понављања који су до сада били недоступни. Такође, први пут се уводи параметар периодичности код секвенцијалних правила. За њихово ефикасно откривање развијен је алгоритам PISRuleGrowth, који примењује приступ растућих образаца ради значајног смањења простора претраге.

Други допринос односи се на унапређење откривања скупова ставки високо-просечне корисности увођењем концепта мешовитих вредности профита. Ова иновација је резултирала развојем модификованог алгоритма МЕНАУРМ, који омогућава прецизну обраду мешовитих и негативних вредности кроз унапређене технике скраћивања простора претраге, чиме се елиминишу грешке карактеристичне за претходне приступе.

Практични значај предложених решења је вишеструк: ПУС правила омогућавају компанијама да прецизно идентификују понављајуће куповне обрасце својих клијената и креирају циљане промотивне стратегије, док МЕНАУРМ обезбеђује реалнију процену профитабилности артикала и процену ефективности промотивних активности. Предложени концепти и модели представљају теоријску и методолошку основу за даље експериментално испитивање и валидацију у оквиру ове дисертације.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања докторске дисертације приказан је у следећој табели:

ФАЗА	ЗАДАТАК	МЕТОДЕ, ТЕХНИКЕ, СТАНДАРДИ
1. Анализа истраживачког проблема	Прикупљање и анализа досадашњих резултата у рударењу секвенцијалних правила, периодичних образаца, скупова ставки високе корисности и скупова ставки високо-просечне корисности.	- Претраживање база података (IEEE Xplore, ACM Digital Library) - Преглед стручне литературе и научних радова - Анализа постојећих алгоритама (ЕНАУРМ, FHM, ERMiner, RuleGrowth)
2. Формализација и предлог модела	Систематизација и формална дефиниција проблема рударења периодичних унутар-секвенцијалних правила и проблема рударења скупова ставки високо просечне корисности које садрже мешовите вредности профита.	- Формална логика - Моделирање процеса рударења података - Дизајн нових алгоритамских модела за PISRuleGrowth и МЕНАУРМ

3. Развој алгоритама	Имплементација алгоритама PISRuleGrowth и МЕНАУРМ на основу предложених модела.	- Програмски језици (Python/Java) - Развој напредних структура података (мапе, листе) - Методологија пројектовања алгоритама - Имплементација неоптимизоване верзије PISRuleGrowth за поређење - Имплементација PISRuleGrowth и МЕНАУРМ алгоритама
4. Експериментална валидација	Дизајн и спровођење ригорозних експеримената ради валидације ефикасности, перформанси и квалитета резултата.	- Компаративна анализа перформанси са конкурентским алгоритмима и неоптимизованим верзијама алгоритама (време извршавања, потрошња меморије) - Анализа квалитета генерисаних образаца (број правила, број образаца, просечна дужина, просечна и укупна корисност) - Коришћење реалних скупова података (OnlineRetail, DiscountSales, Superstore)
5. Анализа резултата и закључак	Анализа, синтеза и представљање добијених експерименталних резултата. Формулисање закључака, истицање доприноса и давање препорука за будућа истраживања.	- Статистичке методе - Визуелизација података (графикони, табеле) - Аналитичко-дедуктивна метода - Синтеза резултата

ФАЗА	МЕСЕЦ											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1												
2												
3												
4												
5												

Оквирно, структуру докторске дисертације сачињаваће следећа поглавља:

1. Увод

- 1.1. Дефинисање предмета истраживања
- 1.2. Циљеви истраживања
- 1.3. Полазне хипотезе
- 1.4. Методологија истраживања

- 1.5. Структура и организација рада
2. Теоријски оквир и сродне методе откривања образаца
 - 2.1. Откривање секвенцијалних правила и периодичних образаца
 - 2.2. Откривање скупова високо-просечне корисности, високе корисности и обрада негативних вредности
 - 2.3. Преглед кључних алгоритама и њихових ограничења
3. Проблем откривања образаца са посебним изазовима
 - 3.1. Дефинисање проблема периодичних унутар-секвенцијалних правила
 - 3.2. Дефинисање проблема мешовитих и негативних вредности корисности у код откривања скупова ставки високе корисности
 - 3.3. Преглед постојећих решења и њихових ограничења
4. Развој и имплементација предложених алгоритама
 - 4.1. PISRuleGrowth: архитектура и логика алгоритма
 - 4.2. МЕНАУРМ: модификације и обрада мешовитих вредности
 - 4.3. Имплементационе одлуке и структуре података
5. Експериментална валидација и анализа резултата
 - 5.1. Дизајн експеримента и коришћени скупови података
 - 5.2. Анализа перформанси PISRuleGrowth алгоритма
 - 5.3. Анализа перформанси МЕНАУРМ алгоритма
 - 5.4. Компарација квалитета резултата
 - 5.5. Анализа постигнутих резултата и доказивање хипотеза
6. Научни и стручни доприноси
7. Будућа истраживања
8. Закључак
9. Литература

7. Закључак и предлог

Из изложеног се може закључити да кандидат Невена Миленковић испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању за одобрење израде докторске дисертације под насловом: **„Развој алгоритама машинског учења за периодична унутар-секвенцијална правила и динамичку корисност ставки”**.

Невена Миленковић поседује неопходна знања из машинског учења, развоја алгоритама, откривања законитости у секвенцијалним и трансакционим базама података за успешан рад на докторској дисертацији.

Тема припада ужој научној области Моделирање пословних система и пословно одлучивање, мултидисциплинарна је и актуелна. Добијени резултати могу допринети унапређењу ефикасности и квалитета добијених образаца из секвенцијалних и трансакционих бази података, и могу имати практичну примену у малопродаји и другим индустријама.

На основу свега наведеног, комисија предлаже Наставно-научном већу да прихвати предложену тему и одобри израду пријављене докторске дисертације. За ментора докторске дисертације предлаже се др Борис Делибашић, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

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

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

др Милош Јовановић, ванредни професор,
Универзитет у Београду-Факултет организационих наука

др Душан Старчевић, професор емеритус, Универзитет у
Београду-Факултет организационих наука

др Мирослав Марић, редовни професор,
Универзитет у Београду- Математички факултет

Београд, 19.10. 2025.