

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУМУ
Департман за последипломске студије
Данијелова 32, Београд

ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

Одлуком Већа Департмана за последипломске студије број 4-132/2026 од 30.04.2026. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Тее Доганџић под називом „Унапређење оптимизације неуронских мрежа коришћењем модификованих метакеуристика: примене на анализу аудио и временских серија“ о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату и докторској дисертацији

Кандидат Теа Доганџић рођена је 10. 08. 1998. године у Краљеву, Република Србија.

Основне академске студије софтверског и информационог инжењерства завршила је на Техничком факултету Универзитета Сингидунум 2021. године, одбравивши дипломски рад на тему „Развој видео-игара помоћу Unity engine-a“. Током основних студија радила је као помоћни сарадник асистентима на вежбама из више предмета, а такође је била ангажована као сарадник у Рачунарском центру Универзитета Сингидунум.

Након завршених основних студија, уписала је и успешно завршила мастер академске студије на истом факултету, са мастер радом на тему „Процедурално генерисање терена у развоју видео-игара“. Докторске академске студије уписала је 2022. године на Универзитету Сингидунум. Школске 22/23 била је ангажована као сарадник у настави ван радног односа на студијском програму ОАС Софтверско и информационо инжењерство.

Аутор је и коаутор више научних радова. Током основних и мастер студија била је добитник стипендије Универзитета Сингидунум, као и учесник бројних научних скупова, конференција и сајмова.

Професионално искуство стекла је радећи као backend developer и game developer, а тренутно ради као BI (business intelligence) и data engineer. Поред тога ради као асистент на Факултету друштвених наука.

Кандидат има следећи објављени рад категорије M23 чиме је испуњен предуслов за одбрану докторске дисертације:

- Dogandzic, T., Bacanin, N., Vukmirovic, S., Selakov, A., Stankovic, M., Zivkovic, M., Radomirovic, B., Simic, V., Abdel-Salam, M., & Antonijevic, M. (2026). Tuning gated recurrent unit models for electroencephalogram anomaly detection with modified particle swarm optimization metaheuristics. *AIP Advances*, 16(8). <https://doi.org/10.1063/5.0349791>

Преостали објављени радови:

Списак резултата M10

- Dogandzic, T., Petrovic, A., Jovanovic, L., Bacanin, N., Jovanovic, A., Zivkovic, M. (2024). Speeding Classification by a Deep Learning Audio Analysis System Optimized by the Reptile Search Algorithm. In: Uddin, M.S., Bansal, J.C. (eds) *Proceedings of International Joint Conference on Advances in Computational Intelligence. IJACAI 2023. Algorithms for Intelligent Systems. Springer, Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0180-3_7
- Jovanovic, A., Dogandzic, T., Jovanovic, L., Kumpf, K., Zivkovic, M., Bacanin, N. (2024). Metaheuristic Optimized BiLSTM Univariate Time Series Forecasting of Gold Prices. In: Nanda, S.J., Yadav, R.P., Gandomi, A.H., Saraswat, M. (eds) *Data Science and Applications. ICDSA 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 818. Springer, Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7862-5_17

Списак резултата M20

- Dogandzic, T., Zivkovic, M., Jovanovic, L., Perisic, J., Milovanovic, M., Antonijevic, M., Hammad, M., & Bacanin, N. (2026). Classifying birds of South America via audio analysis using convolutional networks and boosting models optimized by metaheuristics. *Iran Journal of Computer Science*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s42044-025-00363-4>

Списак резултата M30

- Dogandžić, T., Jovanović, A. (2023). Monocular Depth Estimation Using State-of-the-art Algorithms: A Review. Paper presented at *Sinteza 2023 - International Scientific Conference on Information Technology, Computer Science, and Data Science*. doi:10.15308/Sinteza-2023-100-104
- A. Jovanovic, T. Dogandzic, M. Dobrojevic, M. Sarac, N. Bacanin and M. Zivkovic, "Gold Prices Forecasting Using Recurrent Neural Network with Attention Tuned by

Докторска дисертација кандидата Тее Доганџић је урађена на укупно 123 стране (121 нумерисана страна, уз насловне стране), од чега 17 страна чине списак литературе, попис акронима и прилози. Списак литературе обухвата 119 референци које чине научни радови, књиге, зборници радова као и електронски извори. Уз основни текст дисертација садржи и 34 слике и 36 табела.

Докторска дисертација кандидата Тее Доганџић је била подвргнута провери софтвером за установљивање преклапања/плагијаризма (Crossref Plagiarism Detection Software). *Укупан процентуални износ запажених преклапања износи 18% дисертације.* Анализом извештаја о преклапању утврђено је да се највећи део уочених подударности односи на претходно објављене научне резултате кандидаткиње, који су непосредно повезани са предметом и резултатима докторске дисертације. Посебно су као подударни означени табеларни прикази експерименталних резултата, као и делови текста који описују резултате истраживања претходно објављене у научним радовима кандидаткиње. Комисија је увидом у означене делове утврдила да наведена преклапања представљају коришћење сопствених, раније објављених резултата који су саставни део истраживања обухваћеног докторском дисертацијом, те да не доводе у питање оригиналност дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет рада докторске дисертације је развој, имплементација и експериментална евалуација хибридних модела дубоког учења чији су хиперпараметри оптимизовани модификованим метахеуристичким алгоритмима, у контексту класификације комплексних сигналних података. Истраживање обухвата две конкретне примене: аутоматску класификацију зова шест врста птица које настањују исто станиште у Јужној Америци, применом двослојног оквира који комбинује конволуциону неуронску мрежу и класификаторе засноване на појачавању градијента (CatBoost и LightGBM), као и детекцију аномалија и епилептичних напада у EEG сигнаlima применом GRU мреже. Посебан предмет истраживања представља пројектовање модификованих метахеуристичких алгоритама, итерационо свесног VNS алгорита (Iteration Aware VNS, IAVNS) и динамички прилагодљивог PSO алгорита свесног разноврсности популације (Diversity Aware Dynamic PSO, DADPSO), намењених ефикаснијем подешавању хиперпараметара наведених модела.

Циљ истраживања је научно објашњење утицаја модификованих метахеуристичких алгоритама на перформансе и стабилност хибридних модела дубоког учења, као и научно предвиђање понашања ових алгоритама у зависности од степена неуравнотежености

података по класама и броја класа у класификационом проблему. Друштвени циљ огледа се у доприносу развоју алата за неинвазивно, аутоматизовано праћење биодиверзитета као основе за очување екосистема, као и алата за подршку клиничком скринингу епилепсије, који би олакшао и убрзао рад неуролога при анализи дуготрајних EEG записа.

Задаци истраживања обухватају преглед литературе, издвајање обележја из аудио записа применом MFCC, пројектовање хибридних архитектура, развој алгоритама IAVNS и DADPSO, компаративну експерименталну анализу у односу на савремене метахеуристике, статистичку валидацију резултата и анализу објашњивости најуспешнијег модела применом SHAP методе.

3. Хипотетички оквир истраживања

На основу циљева рада произилази следећи хипотетички оквир који се састоји од генералне хипотезе и посебних хипотеза.

Генерална хипотеза:

Хибридни модели дубоког учења чији су хиперпараметри оптимизовани модификованим метахеуристичким алгоритмима (IAVNS и DADPSO) остварују боље перформансе и стабилност у класификацији комплексних сигналних података од модела без оптимизације и модела оптимизованих постојећим метахеуристикама.

Посебне хипотезе:

H1: Замена завршног, потпуно повезаног слоја конволуционе неуронске мреже класификаторима заснованим на појачавању градијента статистички значајно побољшава тачност класификације зова птица у односу на самостални CNN модел.

H2: Модификовани IAVNS алгоритам, који комбинује механизме променљивог суседства и FA претраге, остварује статистички значајно боље резултате при подешавању хиперпараметара у односу на базну верзију VNS алгоритма и друге метахеуристике коришћене у поређењу (GA, PSO, COA, ChOA, SCHO и COLSHADE).

H3: GRU неуронска мрежа, чији су хиперпараметри оптимизовани метахеуристичким алгоритмом, може са високом поузданошћу да разликује нормалну од аномалне мождане активности на основу EEG временских серија.

H4: Модификовани DADPSO алгоритам, који динамички регулише разноврсност популације на основу L1 норме, остварује статистички значајно боље резултате у погледу стабилности конвергенције и квалитета пронађених решења у односу на стандардни PSO и друге метахеуристике (VNS, GA, FA, BSO, RSA, SASS и COLSHADE), нарочито за податке неуравнотежене по класама.

H5: Ефикасност DADPSO алгоритма опада са порастом сложености класификационог проблема, односно преласком са бинарне (Експерименти 1 и 2) на трокласну класификацију (Експеримент 3), што указује на ограничења генерализације постигнутих побољшања.

4. Методологија истраживања

Приликом израде докторске дисертације, примењене су различите научне методе које омогућују валидно остварење научног и друштвеног циља истраживања.

Од основних метода коришћене су методе анализе и синтезе при прегледу и систематизацији литературе из области дубоког учења и метахеуристичке оптимизације. Од општенаучних метода примењена је хипотетичко-дедуктивна метода, кроз формулисање хипотеза које су проверене експериментално, затим компаративна метода, при поређењу предложених алгоритама са савременим метахеуристикама (VNS, PSO, GA, FA и друге), као и статистичка метода, кроз дескриптивне показатеље (средња вредност, медијана, стандардна девијација) и тестове статистичке значајности (Shapiro-Wilk и Wilcoxon signed-rank тест).

У погледу прикупљања података коришћена је анализа садржаја секундарних извора, односно јавно доступних скупова података (аудио записи зова птица и EEG временске серије). Примењена је и експериментална метода, кроз симулације тренинга и оптимизације модела у више независних извршавања, као и квантитативне методе обраде података, при изради упоредних табела и графичких приказа.

Научна оправданост проистиче из недостатка у литератури, где је комбинација MFCC обележја, конволуционих неуронских мрежа и метахеуристичке оптимизације ретко примењивана у биоакустичкој класификацији, а примена GRU мрежа оптимизованих метахеуристикама у анализи EEG сигнала недовољно истражена. Алгоритми IAVNS и DADPSO представљају оригиналан допринос јер експлицитно регулишу однос експлорације и експлоатације без додатног рачунског оптерећења.

Друштвена оправданост огледа се у развоју неинвазивних алата за праћење биодиверзитета и раног уочавања промена у екосистему, као и алата за подршку скринингу дуготрајних EEG записа, чиме би се растеретио рад неуролога.

5. Кратак приказ садржаја докторске дисертације

Рад се састоји из шест поглавља, праћених списком литературе, пописом акронима и прилозима.

У првом поглављу, Увод, представљена је проблематика аутоматске класификације зова птица и детекције аномалија у EEG сигнаlima применом модела дубоког учења оптимизованих модификованим метахеуристикама. Дефинисан је методолошко-хипотетички оквир: предмет, циљеви и задаци, хипотезе, методе истраживања, као и научна и друштвена оправданост.

Друго поглавље, Опис научне области, посвећено је теоријским основама: обради сигнала и MFCC обележјима, конволуционим и рекурентним мрежама, CatBoost и LightGBM класификаторима, метахеуристичким алгоритмима (VNS, PSO, FA), NP-тешкој природи подешавања хиперпараметара, теореме о непостојању бесплатног ручка и равнотежи експлорације и експлоатације. Приказани су и основи биоакустике, електроенцефалографије и неуродијагностике епилепсије, објашњива вештачка интелигенција (SHAP), метрике евалуације (MCC) и статистичка валидација (Shapiro-Wilk и Wilcoxon тест).

Треће поглавље, Преглед постојећих истраживања, анализира релевантне радове из биоакустичке класификације, аутоматске анализе EEG сигнала и метахеуристичке оптимизације хиперпараметара, уз критички осврт на ограничења постојећих приступа којим се оправдава спроведено истраживање.

Четврто поглавље, Методологија научног доприноса рада, описује оригинални допринос: двослојни хибридни модел (CNN са CatBoost и LightGBM) за класификацију зова птица, GRU модел за детекцију аномалија у EEG сигнаlima, као и модификоване алгоритме IAVNS и DADPSO, укључујући њихову математичку формулацију и образложење модификација.

Пето поглавље, Методологија истраживања, приказује експерименталну проверу оба решења: скупове података, припрему података, просторе претраге хиперпараметара и ток експеримената. Резултати су упоређени са више савремених метахеуристика уз статистичку валидацију, а за класификацију зова птица додатно је спроведена SHAP анализа објашњивости.

Шесто поглавље, Закључак, садржи критички осврт на предности и ограничења предложених приступа и правце будућих истраживања.

6. Постигнути резултати и научни допринос докторске дисертације

У дисертацији су предложена два хибридна оквира дубоког учења и два модификована метахеуристичка алгоритма. Први оквир је двослојни модел у којем CNN служи као

екстрактор обележја из MFCC репрезентације, а CatBoost и LightGBM замењују завршни потпуно повезани слој. Модел CNN-LightGBM, оптимизован алгоритмом IAVNS, постигао је тачност од 76,5% (MCC 0,722) при класификацији зова шест врста јужноамеричких птица. Анализа SHAP методом дала је увид у утицај обележја на одлуке најбољих модела.

Други оквир је GRU модел за детекцију аномалија и епилептичних напада у EEG сигналама, оптимизован алгоритмом DADPSO. У бинарним експериментима постигнута је тачност од 99,75% (Експеримент 1), односно 99,51% (Експеримент 2). У трокласном сценарију тачност износи 97,83%, док већина упоређиваних алгоритама остаје знатно испод тог нивоа.

Статистичка валидација (Shapiro-Wilk и Wilcoxon signed-rank тест, 30 независних извршавања) потврдила је значајну супериорност алгорита IAVNS у односу на све поређене алгоритме, а алгорита DADPSO у односу на већину њих. Резултати показују и ограничења: поменуте предности праћене су већом варијансом између извршавања, а предност алгорита DADPSO смањује се прелазом на трокласну класификацију, што је у складу са теоремом о непостојању бесплатног ручка.

Научни допринос састоји се у следећем:

- алгоритам IAVNS, који постепено повећава удео FA претраге у односу на VNS током итерација;
- алгоритам DADPSO, који динамички регулише разноврсност популације помоћу L1 норме, без додатног рачунског оптерећења;
- нова примена комбинације MFCC, CNN и метахеуристичке оптимизације у биоакустици и GRU мрежа у анализи EEG сигнала;
- емпиријско објашњење зависности ефикасности метахеуристике од броја класа, неуравнотежености података и осетљивости модела на хиперпараметре.

Практични допринос су алати за неинвазивно праћење биодиверзитета и подршку скринингу епилепсије.

7. Мишљење и предлог Комисије о докторској дисертацији

На основу свега изложеног Комисија је мишљења да докторска дисертација кандидата Тее Доганчић по својој теми, приступу, структури и садржају рада, квалитету и начину излагања, методологији истраживања, начину коришћења литературе, релевантности и квалитету спроведеног истраживања и донетим закључцима задовољава критеријуме захтеване за докторску дисертацију, те се може прихватити као подобна за јавну одбрану.

Сагледавајући укупну оцену докторске дисертације кандидата Тее Доганџић, под називом „Унапређење оптимизације неуронских мрежа коришћењем модификованих метахеуристика: примене на анализу аудио и временских серија“, предлагемо Већу департмана за последипломске студије и Сенату Универзитета Сингидунум да прихвати напред наведену докторску дисертацију и одобри њену јавну одбрану.

Београд, 09/10/2026

Чланови комисије:

проф. др Небојша Бачанин-Џакула,
Универзитет Сингидунум, председник

проф. др Горан Квашчев,
Универзитет у Београду, члан

проф. др Миодраг Живковић
Универзитет Сингидунум, ментор