

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Цинцовић Јелице

Одлуком 1177/12 бр. од 08.07.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену дисертације кандидата Цинцовић Јелице под насловом

**Детектовање неуродегенеративних поремећаја коришћењем модификоване
метахеуристике за оптимизовање параметара модела машинског учења**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Цинцовић Јелица уписала је докторске студије на модулу Софтверско инжењерство на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, школске 2019/2020. Кандидат је покренула иницијативу пријављивања теме докторске дисертације крајем 2024. године, а Катедра за рачунарску технику и информатику је поднела предлог у вези пријаве теме докторске дисертације, Комисији за студије трећег степена 12.11.2024. Комисија за студије трећег степена усвојила је предлог пријаве теме докторске дисертације 03.12.2024. и упутила предлог НН Већу, које је прихватило предлог 10.12.2024. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, прихватило је тему за израду докторске дисертације 24.03.2025.

1.2. Научна област дисертације

Научна област дисертације припада области електротехнике и рачунарства, а додатно области рачунарства и информатике и софтверског инжењерства у сфери машинског учења. Ментор докторске дисертације је проф. др Милош Цветановић, ванредни професор на Електротехничком факултету у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Цинцовић Јелица рођена је 04.12.1994. у Београду. Основну школу завршила је као ђак генерације и носилац дипломе „Вук Караџић”. Потом је завршила Трећу београдску гимназију, такође као носилац дипломе „Вук Караџић”.

Након завршене средње школе 2013. уписала је Електротехнички факултет Универзитета у Београду, студијски програм Софтверско инжењерство. Током студија завршила је две стручне праксе у компанијама Asecso SEE и Avisto Eastern Europe. Такође је била демонстратор на неколико предмета при Катедри за рачунарску технику и информатику. Дипломирала је 2017. године са просечном оценом 8,93. Дипломски рад „Развој 2D видео-игре комбиновањем трке на табли са квизом знања” одбранила је са оценом 10.

Дипломске академске - мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Софтверско инжењерство уписала је у октобру 2017. године. Мастер рад „Развој друштвене вишеплатформске 3Д видео-игре са интегрисаним квизом знања” је одбранила 2019. године са оценом 10. Просечна оцена на мастер студијама је 10,00.

Докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписала је школске 2019/2020, на модулу Софтверско инжењерство, и положила је све испите са просечном оценом 10,00. Током мастер и докторских студија објавила је један рад као први аутор у часопису са SCI листе и 12 научних радова на домаћим и страним конференцијама као аутор или коаутор.

Од школске 2017/2018. године почела је са радом на Електротехничком факултету у Београду као сарадник у настави, а од школске 2019/2020. као асистент. Тренутно је ангажована на предметима: Интернет програмирање, Програмирање интернет апликација, Практикум из пословне комуникације и презентације, Програмирање корисничких интерфејса, Веб дизајн и Проналажење скривеног знања.

Током периода у ком је запослена на Електротехничком факултету учествује на више научних и комерцијалних пројеката. Учесница је или је била учесница на неколико научних пројеката: 1) „Software for Text Offenses Prevention in Serbian: AI-driven Hate Speech Detection (STOP)” који финансира Фонд за науку Републике Србије; 2) „Advancing novel textual similarity-based solutions in software development (AVANTES)” који је финансирао Фонд за науку Републике Србије; и 3) „Belgrade Data Innovation Hub (BELDIH)” - HORIZON 2020. У периоду од претходних пет година учествовала је као предавач у оквиру УНДП програма за преквалификације у ИТ сектору, у организацији Електротехничког факултета у Београду. На комерцијалним пројектима је сарађивала са неколико домаћих и страних фирми и колегама са других катедри Електротехничког факултета. Говори течно енглески и немачки језик.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

У овој дисертацији приказани се резултати добијени применом модела машинског учења за рану детекцију Паркинсонове болести и других неуродегенеративна обољења. Хиперпараметри модела су оптимизовани модификованом метахеуристиком хиперболичког синуса и косинуса која додатно користи механизам вештачке колоније пчела и квази-рефлексивног учења. Нова модификована метахеуристика поређена је са већ постојећим метахеуристикама и у спроведеним експериментима је показала завидне резултате. Дисертација има 109 страница, подељених на девет поглавља. Поглавља су: Увод, Неуродегенеративна обољења, Машинско учење и алгоритми машинског учења, Преглед постојећих решења у области Паркинсонове болести и машинског учења, Оптимизација алгоритама машинског учења, Метахеуристика хиперболичког синуса и косинуса и њена модификација, Експерименти и резултати, Будућа унапређења и Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација поред увода који описује предмет, циљ и значај истраживања, има још девет поглавља. У другом поглављу описана су неуродегенеративна обољења, са посебним акцентом на Паркинсонову болест и атипична Паркинсонова обољења, који су узроци настанка болести, како се дијагностикују и лече. Треће поглавље говори о машинском учењу, подели машинског учења и различитим алгоритмима машинског учења, и основним принципима функционисања истих. Четврто поглавље прави осврт на преглед скупова података и литературе у домену детектовања Паркинсонове болести и других неуродегенеративних обољења уз коришћење модела машинског учења. У петом поглављу описане су технике оптимизације модела машинског учења, са главним фокусом на анализу рада различитих метахеуристике. Шесто поглавље даје преглед повојимплементираних метахеуристике, и описује коришћене технике за унапређење основне верзије алгоритма. У седмом поглављу даје се преглед коришћених скупова података, извршених експеримената и добијених резултата, као и преглед статистичких валидација. Осмо поглавље говори о потенцијалним будућим унапређењима, док девето поглавље представља закључак дисертације и истиче главне доприносе дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Конкретан лек за Паркинсонову болест и друга неуродегенеративна обољења још увек не постоји, већ се користе лекови који раде на ублажавању симптома подизањем нивоа допамина. Међутим поред допамина и други неуротрансмитери могу да утичу на настанак Паркинсонове болести попут глутамата и серотонина. Осим неуротрансмитера уочено је да и генетски фактори могу да имају утицаја на настанак болести, као и окружујући фактори попут повреда главе. Све ово доприноси сложености болести и отежава проналажење правог лека. Зато се значај спроведеног истраживања огледа у томе да се унапреде методе детектовања Паркинсонове болести и да се креирају модели, који са високом прецизношћу могу да одреде постојање неуродегенеративног поремећаја, користе зарад једноставнијег и ефикаснијег откривања болести. Рано детектовање болести је од највећег значаја за што боље резултате лечења пацијената.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је наведена 102 релевантна библиографска референца. Кандидат је детаљно проучио литературу у области раног откривања Паркинсонове болести и других неуродегенеративних обољења, као и из области примене метода машинског учења и дубоког учења. Кандидат је показао ширину у сагледавању проблема који је предмет дисертације, цитирајући базичне радове из области докторске дисертације, али и актуелне радове објављене у престижним међународним часописима и зборницима радова међународних конференција. Списак литературе укључује и радове које је кандидат публиковао као аутор верификујући научне доприносе ове дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Циљ овог истраживања јесте реализација модела машинског учења за детектовање Паркинсонове болести и других неуродегенеративних обољења, чији су хиперпараметри оптимизовани коришћењем алгорита метахеуристике. Улазни подаци у моделе су прикупљени са сензора прикључених на шаку пацијента који су извршавали тестове тапкања

прстију шаке. Корисни модели машинског учења су рекурентне неуралне мреже, рекурентне неуралне мреже обогачене механизмом пажње и екстремни градијентни појачивач. Сваки од модела има своје хиперпараметре који су оптимизовани метахеуристикама.

У случају рекурентних неуралних мрежа оптимизовани су број рекурентних слојева у мрежи, број неурона у сваком слоју, фактор одбацавања, стопа учења и број епоха, док се за рекурентне неуралне мреже са механизмом пажње додатно оптимизује и број неурона у слоју пажње. У случају екстремног градијентног појачивача оптимизује се стопа учења, минимална сума Хесијана у чвору, проценат тренинг података који се узима, проценат особина које се случајно бирају при конструкцији повог стабла, максимална дубина стабла и параметар γ .

Метахеуристике које су оптимизовале моделе су *BSO*, *PSO*, *FA*, *GA*, *WOA*, *SCHO* и *COLSHADE*, уз нову модификовану верзију *SCHO* метахеуристике, *MSCHO*. *MSCHO* метахеуристика унапређује основу верзију алгорита техникама веспагачке колоније пчела и квази-рефлексивног учења.

3.4. Применивост остварених резултата

Предмет истраживања ове докторске дисертације је на који начин савремени модели машинског учења могу да унапреде и олакшају детектовање Паркинсонове болести и других неуродегенеративних обољења. Машинско учење омогућава да се уоче зависности у подацима које би стандардним анализама промакле, па је самим тим ова област нашла примену у побољшању резултата истраживања у медицинске сврхе. Зато спроведено истраживање има директну примену у здравству, и то раној детекцији одређених неуродегенеративних обољења. Реализована нова метахеуристика се осим у овој области, може користити и за побољшање хиперпараметара модела у другим сферама науке које увиђају значај примене машинског учења и циљу побољшања перформанси.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Разматрајући претходно приказане резултате досадашњег рада кандидата и, узимајући у обзир све положене испите и стручне обавезе током докторских студија, успешну одбрану теме докторске дисертације, као и до сада објављене научне радове на научно-стручним скуповима, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата је утврдила да је кандидат показао да је стекао неопходно искуство за самосталан научно-истраживачки рад. Такође, Комисија је изразила мишљење да је кандидат способан да током израде докторске дисертације оствари резултате и доприносе који могу бити приказани и верификовани од стране међународне научне заједнице. Комисија је донела закључак и поднела извештај да је кандидат испунио све неопходне и формалне услове да приступи изради докторске дисертације на предложеној теми.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

1. Преглед и анализа постојећих скупова података и модела машинског учења који се баве предвиђањем постојања Паркинсонове болести и других неуродегенеративних обољења
2. Креирање модела машинског учења који врше детекцију неуродегенеративних обољења на основу временских серија података прикупљених извршавањем тестова тапкања шаке. Један модел за бинарну класификацију који на основу временских

серија детектује присуство Паркинсонове болести и други модел за вишекласну класификацију који на основу временских серија уз додатне статистичке обраде детектује не само присуство Паркинсонове болести, већ и других неуродегенеративних обољења попут мултипле системске атрофије, прогресивне супрануклеарне парализе или кортикобазалне дегенерације

3. Креирање нове, модификоване верзије алгорита са метахеуристиком која ће се користити за оптимизацију хиперпараметара и унапређење целокупних перформанси модела за детектовање неуродегенеративних обољења
4. Побољшање детектовања Паркинсонове болести моделима машинског учења кроз податке скупа података о тапкању прстима
5. Модификација метахеуристике хиперболичког синуса и косинуса која се може користити за оптимизацију ширег спектра проблема

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Скуп података о тапкању прстима прикупљен на Клиници за неурологију у Београду, послужио је као основа за више научних радова. Ова дисертација је додатно унапредила те резултате коришћењем метахеуристика за оптимизовање модела машинског учења. Бипарна класификација Паркинсонове болести се предвиђа са тачношћу од преко 93%, док се мултикласна класификација Паркинсонове болести и других атипичних Паркинсонових обољења предвиђа са тачношћу од преко 85%.

Експерименти су вршени у већем броју независних покретања за више поређених метахеуристика, а најбоље резултате показала је модификована верзија метахеуристике хиперболичког синуса и косинуса. Модификована метахеуристика показала се применом и на друге скупове података.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M22:

1. **J. Cincović, L. Jovanović, B. Nikolić, N. Bačanić, Neurodegenerative Condition Detection Using Modified Metaheuristic for Attention Based Recurrent Neural Networks and Extreme Gradient Boosting Tuning, IEEE ACCESS, Vol. 12, 2024. [ISSN: 2169-3536, IF₂₀₂₅=3.6]**

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Тема докторске дисертације је примена модела машинског учења за рано детекцију Паркинсонове болести и других неуродегенеративних обољења. На самом почетку, кандидат је приказао мотивацију за рано откривања болести, као и улогу вештачке интелигенције, машинског учења и дубоког учења у овом процесу. Затим је кандидат анализирао основне особине неуродегенеративних обољења, са посебним акцентом на Паркинсонову болест и атипична Паркинсонова обољења, који су узроци настанка болести, како се дијагностикују и лече. Након тога је кандидат спровео исцрпну анализу карактеристика и могућности примене различитих алгорита машинског учења. Кандидат је обрадио и анализирао и скупове података и доступну литературу у домену детектовања Паркинсонове болести и других неуродегенеративних обољења уз коришћење модела машинског учења. Затим је кандидат дао предлог и извршио имплементацију нове метахеуристике, уз описе коришћених техника за унапређење основне верзије алгорита. Кандидат је извршио и евалуацију коришћених скупова података, реализованих експеримената и добијених резултата, извршио њихово поређење са резултатима осталих релевантних истраживања и навео проблеме који се могу

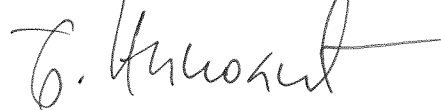
десити у процесу ране детекције болести. На самом крају кандидат је навео лимите свог истраживања, могућности за надоградњу и правце у којима истраживање у овој области може да се настави.

Разматрајући претходно приказане резултате досадашњег рада кандидата, узимајући у обзир све положене испите и стручне обавезе током докторских студија, и успешну одбрану теме докторске дисертације, до сада објављене научне радове на научно-стручним скуповима и написану докторску дисертацију, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата је изразила мишљење да је кандидат током израде докторске дисертације остварио резултате и доприносе који могу бити приказани и верификовани од стране међународне научне заједнице.

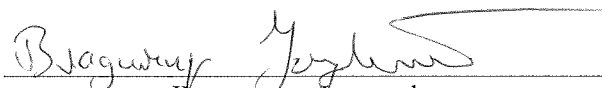
Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Детектовање неуродегенеративних поремећаја коришћењем модификоване метахеуристике за оптимизовање параметара модела машинског учења” (*Neurodegenerative condition detection using modified metaheuristic for optimising parameters of machine learning models*) кандидата Јелице Цинцовић 2019/5032 прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 14.07.2025.

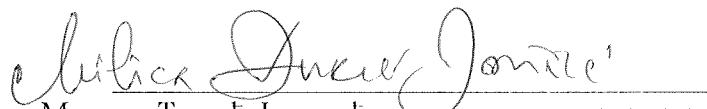
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



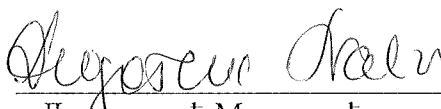
др Бошко Николић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



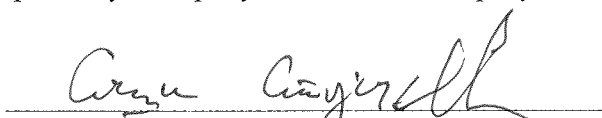
др Владимир Јоновић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милица Ђурић-Јовић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду –
Иновациони центар Електротехничког факултета



др Наташа Драгасевић Мишковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Медицински факултет



др Саша Стојановић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет