КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 08.07.2026 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Милош Продановић под насловом „Компаративна анализа метода обраде и класификације ЕКГ сигнала". Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

И З В Е Ш Т А Ј

1. Биографски подаци кандидата

Милош Продановић је рођен 04.04.2000. године у Београду. Завршио је основну школу „Радоје Домановић" у Београду као вуковац. Уписао је Девету гимназију „Михаило Петровић Алас" у Београду коју је завршио са одличним успехом. Електротехнички факултет уписао је 2019. године. Дипломирао је на одсеку за Сигнале и системе 2023. године са просечном оценом 8,13. Дипломски рад одбранио је у августу 2023. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за сигнале и системе уписао је у октобру 2023. године. Положио је све испите са просечном оценом 10.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Милош Продановић је као припрему за израду мастер рада проучио релевантну литературу из области дигиталне обраде биомедицинских сигнала и статистичке класификације. Обрадио је електрофизиолошку основу електрокардиограма, морфологију срчаног откуцаја и поделу аритмија, као и изворе шума и артефаката који отежавају аутоматску анализу. Посебно је анализирао базу MIT-BIH Arrhythmia Database и препоруку AAMI стандарда за груписање типова откуцаја, на основу које је формулисан задатак бинарне класификације на нивоу појединачног откуцаја.
Са методолошке стране, кандидат је проучио дискретну вејвлет трансформацију и вишерезолуцијску анализу, поступак уклањања шума праговањем вејвлет коефицијената према Donoho–Johnstone критеријуму, кратковремену Фуријеову трансформацију, анализу главних компоненти, технику синтетичког уравнотежавања класа, као и четири алгоритма класификације: Наивни Бајесов класификатор, методу потпорних вектора, случајну шуму и градијентно појачавање. Проучио је и метрике евалуације бинарне класификације, са посебним осртом на њихово понашање при израженој неравнотежи класа.
Извршен је и преглед савремених радова из ове области, укључујући приступе засноване на дубоким неуронским мрежама, на кластеризацији и на интерпретабилним архитектурама, са циљем да се утврди како се предложено решење позиционира у односу на постојећа.
На основу спроведеног истраживања кандидат је дефинисао експериментални оквир за контролисано поређење двеју метода екстракције карактеристика под идентичним условима и утврдио протокол евалуације. Реализован је програмски систем у језику Python и припремљена методологија која обухвата и додатне експерименте потребне за разматрање два методолошка питања постављена током израде рада: оправданости редукције димензионалности и избора метрике евалуације.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 83 стране, рачунајући од увода, са укупно 28 слика, 18 табела, 20 нумерисаних формула, 7 исечака програмског кода у основном тексту и 33 референце. Рад садржи увод, седам тематских поглавља и закључак, односно укупно девет нумерисаних поглавља, као и списак коришћене литературе, скраћеница, слика и табела, и два прилога у којима су дати потпун програмски код и списак коришћених симбола.
Увод дефинише проблем, предмет и циљ рада и наводи доприносе. Друго поглавље уводи електрофизиолошку основу ЕКГ сигнала, морфологију откуцаја, поделу аритмија и изворе шума, а затим описује MIT-BIH базу података и AAMI шему анотација на основу које је формулисан бинарни задатак. Треће поглавље даје преглед постојећих решења по фазама обраде, са предностима и ограничењима сваке групе приступа, и детаљније приказује три савремена рада са којима су резултати касније упоређени.
Четврто поглавље излаже математичку основу примењених метода: вејвлет трансформацију и вишерезолуцијску анализу, праговање вејвлет коефицијената, кратковремену Фуријеову трансформацију, анализу главних компоненти, синтетичко уравнотежавање класа, четири класификатора и метрике

евалуације. Пето поглавље описује реализовани систем, модул по модул, уз кључне исечке програмског кода и наведене верзије коришћених алата.
Шесто поглавље приказује резултате контролисаног поређења двају токова екстракције карактеристика, анализу простора карактеристика и поређење са сродним радовима. Седмо поглавље разматра оправданост редукције димензионалности, а осмо избор метрике евалуације. У закључку су обједињени налази, наведена ограничења и предложени правци даљег рада.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Милоша Продановића обрађује актуелан проблем аутоматске детекције аритмија из ЕКГ сигнала, при чему је тежиште постављено на питање избора репрезентације сигнала, а не само на избор класификатора.
Експерименти су изведени над целокупном базом MIT-BIH, која након сегментације садржи 109.446 откуцаја, од чега 90.589 нормалних и 18.857 аритмичних, односно у односу 82,77% према 17,23%.
Посебан квалитет рада представљају две додатне анализе. Прва се односи на оправданост редукције димензионалности. Кандидат је показао да однос броја узорака и броја димензија, посматран кроз број откуцаја, делује повољно, али да сви откуцаји потичу од свега 48 пацијената и да су унутар пацијента јако корелисани. Израчуната интракласна корелација од 0,1875 даје ефекат узорковања у групама од 428, одакле следи ефективна величина узорка од свега 256 независних опсервација, што је мање од димензије вектора карактеристика, која износи 326.
Уведена је и евалуација која поштује границе између пацијената. Прелазак са поделе на нивоу откуцаја на поделу по пацијентима смањује Матусов коефицијент корелације са 0,8954 на 0,6495, а прецизност са 0,9421 на 0,5880, чиме је показано да значајан део резултата добијених уобичајеним протоколом потиче од препознавања пацијента, а не од препознавања аритмије.
Друга анализа односи се на избор метрике евалуације. Показано је да универзално доминантна метрика не постоји, јер различите метрике проглашавају различите моделе најбољим. Истовремено је показано да је тачност за овај задатак неподесна: тривијални класификатор већинске класе постиже тачност 0,8277, а под протоколом DS1/DS2 случајна шума постиже 0,8987 наспрам тривијалних 0,8903, док Наивни Бајесов класификатор постиже 0,8136, дакле мање од модела који не носи никакву информацију. Кандидат препоручује извештавање Матусовог коефицијента корелације, површине испод криве прецизност-одзив и пара прецизност и одзив.

5. Закључак и предлог

Кандидат Милош Продановић је у свом мастер раду успешно реализовао и експериментално оценио систем за аутоматску детекцију аритмија из ЕКГ сигнала, уз контролисано поређење двеју метода екстракције карактеристика. Поред основног поређења, обрадио је и два методолошка питања постављена током израде рада, оправданост редукције димензионалности и избор метрике евалуације, и на оба дао образложене одговоре поткрепљене експериментима.

Кандидат је током израде рада показао висок степен самосталности, систематичности и инжењерске зрелости. Теоријски део, реализација програмског система, методологија и анализа резултата урађени су на високом стручном и техничком нивоу. Рад садржи јасно формулисане доприносе, а ограничења добијених резултата коректно су размотрена и наведена.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да рад дипл. инж. Милоша Продановића, под насловом „Компаративна анализа метода обраде и класификације ЕКГ сигнала", прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 27.10.2026. године

Чланови комисије:

др Жељко Ђуровић Редовни професор
сагласан, 26.10.2026.

др Александра Крстић Ванредни професор
сагласан, 27.10.2026.