

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Илије (Владан) Танасковића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства.

Одлуком бр. 1275/23 од 02.07.2024 године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Илије Танасковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Карактеризација кардиографских сигнала методама статистичке анализе и машинског учења” (енг. *“Characterization of cardiographic signals using methods of statistical analysis and machine learning”*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Илија Танасковић је рођен 2. децембра 1997. године у Чачку. Основну школу ”Вук Караџић” у Чачку је завршио као ђак генерације и носилац је дипломе ”Вук Караџић”. Гимназију у Чачку је завршио као носилац дипломе ”Вук Караџић”. Електротехнички факултет, Универзитета у Београду је уписао 2016. године и дипломирао 2020. године са просеком 9,20 на смеру Сигнали и системи. Дипломски рад под насловом: ”Анализа мишићне активности са циљем откривања замора мишића надлактице” је одбранио под менторством др Надице Миљковић, ванредне професорке. Мастер академске студије је завршио 2021. године на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду на смеру Сигнали и системи са просечном оценом 10 и са одбрањеним мастер радом под насловом ”Методе анализе биосигнала за детекцију срчаног ритма фетуса” под менторством др Надице Миљковић, ванредне професорке. Докторске академске студије, уписао је 2021. године на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду на смеру Управљање системима и обрада сигнала, где је положио све испите са просечном оценом 10.

Илија Танасковић је аутор једног рада у часопису са *SCI* листе (M23) и 5 радова са међународних конференција (четири у категорији M33 и један у категорији M34). Од 1. априла 2021. године до 31. марта 2022. године је радио у компанији *Abbott* на позицији техничког консултанта за уградњу имплантибилних пејсмејкера и кардиовертер дефибрилатора у Београду. А, од 1. априла 2022. године запослен је у Истраживачко-развојном институту за вештачку интелигенцију Србије на ком је 5. септембра 2022. изабран у звање истраживач-приправник. У Институту, Илија Танасковић је ангажован у групи Вештачка интелигенција у здравству и природним наукама (енг. *AI in Healthcare & Lifescience*), где се бави применом метода вештачке интелигенција у обради биомедицинских сигнала, анализи медицинске слике и истраживањима у области биоинформатике.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Илија Танасковић је показао интересовање за научноистраживачки рад у дигиталној обради сигнала, издвајању карактеристичних обележја и примени метода машинског учења у биомедицинском инжењерству.

Уписао је докторске академске студије школске 2021/2022. године на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду на смеру Управљање системима и обрада сигнала, где је положио све испите са просечном оценом 10 и остварио 111 ЕСПБ. Списак положених испита са осталим факултетским обавезама приказан је у наставку:

Шифра	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
19Д051ОМО	Одабране методе обраде физиолошких сигнала	10	9
19Д051СМП	Савремене методе за пројектовање регулатора у системима управљања	10	9
19Д051КЕС	Класификација и естимација сигнала	10	9
19Д051НМ	Неуралне мреже	10	9
19Д051СТЗ	Савремене технологије у здравству	10	9
19Д091УНР	Увод у научни рад	10	6
19Д051ОПДОС	Одабране примене дигиталне обраде слике	10	9
Обавеза	Студијски истраживачки рад I	-	24
Обавеза	Научно-стручни рад	-	3
Обавеза	Студијски истраживачки рад у вези докторске тезе II	-	24

У звање истраживач-приправник изабран је 5. септембра 2022. године на Истраживачко-развојном институту за вештачку интелигенцију Србије. Досадашњи резултати кандидата су приказани у једном раду у међународном часопису са SCI листе и у 5 публикација на међународним конференцијама:

- Радови у часописима са импакт фактором:
 - **Tanasković I.**, Miljković N.: *A new algorithm for fetal heart rate detection: Fractional order calculus approach*, - Medical Engineering & Physics, Vol 118, 2023, pp. 104007. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2023.104007>. (M23, IF2023 = 1.7).
- Радови на међународним конференцијама:
 - **Tanasković I.**, Ičagić S., Šolić I., Rakić B.: *Adapting YOLOv8 for kidney tumor segmentation in computed tomography*, - Proceedings for the 9th International Conference On Smart And Sustainable Technologies (SpliTech), Bol, Croatia 2024., pp. 1-5. <https://doi.org/10.23919/SpliTech61897.2024.10612634>. (M33)
 - Nešković Đ. D., **Tanasković I.**, Miljković N.: *Feature Selection for Lying Posture Classification*, - Book of Abstracts for The Third Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICAAI), University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia, 2024., pp. 78-79. (M34)
 - **Tanasković I.**, Seničar M., Rakić B.: *Integrating Machine Learning and Bioinformatics for Chronic Inflammation Biomarker Discovery*, - In: Konjović, Z., Zdravković, M., Trajanović, M. (Eds.) Proceedings of 14th International Conference on Information Society and Technology (ICIST), Kopaonik, Serbia 2024., in print. (M33)
 - **Tanasković I.**, Miljković N., Stojmenova Pečecnik K., Sodnik J.: *Saccade Identification During Driving Simulation from Eye Tracker Data with Low-sampling Frequency*, - In: Trajanović, M., Filipović, N., Zdravković, M. (Eds.) Disruptive Information Technologies for a Smart Society, ICIST 2023, Lecture Notes in Networks and Systems, Kopaonik, Serbia, 2023., Vol 872, pp. 30-39. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50755-7_4. (M33)

- **Tanasković, I., Miljković, N.:** *Fractional order calculus for fetal pulse detection*, - Proceedings of the 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2022., pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH53737.2022.9751327>. (M33)

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Дана 26. августа 2024. године, кандидат Илија Танасковић је на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду усмено полагао испит о подобности теме докторске дисертације и кандидата (докторски испит), пред Комисијом у саставу:

- Др Томислав Шекара, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- Др Ненад Филиповић, редовни професор, Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука
- Др Лазар Сарановац, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- Др Вељко Папић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- Др Ана Гавровска, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

На јавној усменој одбрани предложене теме, Комисија је кандидата оценила оценом **задовољно**. Додатно, на усменој одбрани је одлучено да се назив теме докторске дисертације преформулише из „Развој метода за карактеризацију кардиографских сигнала” (енг. *„Development of methods for characterization of cardiographic signals”*) у „Карактеризација кардиографских сигнала методама статистичке анализе и машинског учења” (енг. *„Characterization of cardiographic signals using methods of statistical analysis and machine learning”*), уз сагласност менторке и свих чланова Комисије.

На основу резултата испита за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, резултата током студирању на свим нивоима студија, објављених научних радова у области теме докторске дисертације и оствареног искуства у раду на предложеном истраживању, Комисија констатује да кандидат Илија Танасковић поседује знање и истраживачко искуство и показује зрелост и самосталност који га квалификују за израду дисертације

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације под радним насловом „Карактеризација кардиографских сигнала методама статистичке анализе и машинског учења” (енг. *„Characterization of cardiographic signals using methods of statistical analysis and machine learning”*) је развој нових и унапређење постојећих метода за анализу кардиограма, односно кардиографског сигнала, са циљем потискивања шума, оцене квалитета сигнала, делинеације и издвајања обележја од интереса, као и са циљем доношења одлука на бази статистичке анализе и машинског учења.

Кардиографски сигнали садрже информацију о електричним и механичким физиолошким променама у кардио-васкуларном систему, које су резултат срчане активности [1,2]. Најпознатији и најчешће коришћен кардиограм је електрокардиографски (ЕКГ) сигнал који поседује информацију о електричној активности срца и представља саставни део кардиолошког клиничког прегледа [1]. У клиничкој пракси, у примени су и сигнали за мерење протока крви у микроваскуларном слоју ткива - фотоплетизмографски (ФПГ) сигнали и акустични сигнали који осликавају срчану активност - фонокардиографски (ФКГ) сигнали [3,4]. Корисне информације, које се добијају карактеризацијом ФПГ и ФКГ сигнала могу послужити као допуна кардиолошкој процени стања особе, која се добија из ЕКГ сигнала [4,5]. У истраживањима се користе и кардиолошки сигнали, који нису заступљени у медицинској дијагностици, као што су импедансни кардиограм (ИКГ) и абдоминални ЕКГ

(аЕКГ). ИКГ сигнал осликава промену торакалне импедансе која је у великој мери резултат промене протока крви кроз срце, те омогућава карактеризацију механичке активности срца [3,6], а поред ехокардиографије (ултразвучно снимање срца), може се користити за евалуацију рада леве коморе срца [7]. Показано је да параметризација ИКГ сигнала резултује обележјима која су у сагласности са резултатима карактеризације ехокардиографских снимака [8] и која су корисна за мониторинг пацијената са дијагностификованом кардиомиопатијом [9]. Сигнал аЕКГ се добија постављањем површинских сребро/сребро-хлорид (Ag/AgCl) електрода на стомак труднице. Мерење аЕКГ сигнала је важно, јер се издвајањем обележја из аЕКГ може неинвазивно пратити срчани ритам фетуса [10,11]. Међутим, аЕКГ сигнал није део стандардне клиничке праксе, јер представља, тзв. „коктејл” сигнала - постоји релативно велики утицај шума и преслушавања са другим електрофизиолошким сигнаlima, као што су електрична активност материце (електрохистерограм) и електрична активност срца труднице (ЕКГ труднице) [10,11]. Слично као аЕКГ сигнал, ИКГ сигнал је подложен шуму, чиме је онемогућено издвајање релевантних информација о стању кардиоваскуларног система у условима динамичког мерења [12]. За ширу примену у медицинској пракси и истраживањима у биомедицинском инжењерству, поред стандардизације протокола за мерење аЕКГ и ИКГ сигнала, потребно је развити нове и усавршити постојеће метода за потискивање шума и издвајање обележја од интереса, али и развити системе одлучивања на бази статистичке анализе и метода машинског учења.

Истраживање, у оквиру дисертације ће бити фокусирано на карактеризацију аЕКГ, ЕКГ и ИКГ сигнала са основним циљевима:

- Унапређења методе *Pan-Tompkins (PT)* алгорита [13] за детекцију локације феталног *QRS* комплекса на бази фракционог извода и методе усредњавања сигнала са покретним прозором (енг. *Moving Average* филтар, у даљем тексту *MA* филтар).
- Развоја нових параметара за оцењивање квалитета феталног ЕКГ сигнала.
- Примене различитих скупова обележја издвојених из ЕКГ и ИКГ сигнала и испитивање утицаја емоција на успешност биометријске идентификације здравих испитаника на основу издвојених обележја.
- Одабира модела машинског учења и одговарајућих хиперпараметара прилагођених успешном доношењу одлука коришћењем кардиографских сигнала и метода машинског учења за примену у биометрији.
- Формирања најинформативнијих обележја из проширене и нове колекције параметара који су издвојени из ЕКГ и ИКГ сигнала за биометријску идентификацију.

Један од изазова у анализи кардиограма је преслушавање са другим електрофизиолошким сигнаlima (нпр. са електричном активношћу мишића, тј. електромиографским (ЕМГ) сигналом), као и појачан утицај шума (нпр. артефакт покрета и шум напајања). Уобичајно, методе за елиминацију шума укључују дигитално филтрирање, које има за циљ пропуштање опсега учестаности на ком је претежно концентрисана спектрална снага сигнала од интереса [4]. Показано је да се шумови високе (шум напајања) и ниске учестаности (шум базне линије) могу ефикасно потиснути коришћењем линеарног дигиталног филтра за филтрирање ЕКГ и ИКГ сигнала мерених у статичким условима (нпр. сигнали су снимани на испитаницима у седећем положају) са циљем пропуштања фреквенцијског опсега од интереса. У комплексним ситуацијама у којима је шум израженији, као што је то случај са аЕКГ сигналом или са мерењима у динамичким условима (нпр. док испитаник трчи), линеарно дигитално филтрирање се не може применити, јер је спектрална снага сигнала преклопљена са спектралном снагом шума [11]. Додатно, постоји неповољан, тј. смањен однос сигнал/шум (енг. *Signal-to-Noise-Ratio, SNR*). На пример, амплитуда ЕКГ сигнала труднице може бити неколико пута већа од амплитуде ЕКГ сигнала фетуса. Повећано присуство шума у аЕКГ сигналу и релативно велике варијације у квалитету сигнала условиле су развој нових

параметара за оцену квалитета феталног ЕКГ сигнала [14]. Са циљем прорачуна срчаног ритма фетуса, потребно је детектовати карактеристичне пикове на феталном ЕКГ сигналу, што може представљати изазов услед присуства шума на аЕКГ сигналу релативно ниског квалитета.

За детекцију позиције пикова, који одговарају појединачним откуцајима срца на ЕКГ сигналу, уобичајено се користи *PT* алгоритам, који укључује рачунање првог извода сигнала у временском домену, са циљем наглашавања релативно брзих *QRS* комплекса и њихове ефикасније детекције. Примена првог извода на аЕКГ сигнаlima би изазвала додатно појачање шума и компромитовала локализацију пикова. Зато ће у оквиру докторске дисертације, бити предложено коришћење фракционог, тј. разломљеног извода сигнала за детекцију феталног *QRS* комплекса из аЕКГ сигнала, уместо целобројног првог извода. Идеја за модификацију *PT* алгоритма, применом фракционог извода је мотивисана резултатима студије у којој је показано да се применом фракционог извода постиже компромис између наглашавања брзих промена *QRS* комплекса и појачања шума [15]. У докторској дисертацији ће бити предложена оптимизација параметара реда фракционог извода и ширине *MA* филтра, чиме ће бити обезбеђена тачнија детекција пикова феталних *QRS* комплекса и омогућена адаптација на варијабилни квалитет доступних сигнала. Циљ реализоване студије, која је резултат истраживања у оквиру докторске дисертације је, између осталог, развој нових и примена постојећих параметара за оцену квалитета феталног ЕКГ сигнала. Нови параметри за оцену квалитета ће у докторској дисертацији бити примењени са циљем издвајања одговарајућег сегмента, који је најмање контаминиран шумом и за детекцију срчаног ритма фетуса. Додатно, представљено истраживање ће бити фокусирано на унапређење и модификацију *PT* алгоритма применом фракционог извода и *MA* филтра оптималне ширине. Предложена модификација *PT* алгоритма омогућава оптимизацију два параметра алгоритма (реда фракционог извода и ширине прозора *MA* филтра) са циљем тачније детекције срчаног ритма фетуса на сегментима са трајањем од 10 секунди који би се могли користити у дијагностици.

Примена кардиографских сигнала, посебно ЕКГ сигнала је од значаја у дијагностици поремећаја рада срца и представља део свакодневне клиничке праксе [1]. Поред информација које су од користи у дијагностици, кардиографски сигнали садрже и друге, тзв. скривене, информације. Приступ скривеним информацијама је омогућен развојем нових обележја и применом модела машинског и дубоког учења. На пример, у студији објављеној на приближно 500.000 пацијената, показана је успешна естимација пола и старости пацијената коришћењем конволуционих неуралних мрежа на ЕКГ сигнаlima са тачношћу естимације пола већом од 90% [16]. Такође, ЕКГ сигнали се могу користити за биометријску идентификацију испитаника, јер садрже јединствене карактеристике попут отиска прста [17,18]. За разлику од ЕКГ сигнала, ИКГ сигнал, према доступним информацијама, није до сада испитиван за примену у биометрији [19]. У докторској дисертацији ће по први пут бити детаљно истражена примена ИКГ сигнала у биометрији и биће представљени резултати студије која се заснива на позитивним прелиминарним резултатима комбиноване примене обележја (издвојених из ЕКГ и ИКГ сигнала) који су представљени у конференцијском раду [18].

Биометријска идентификација, заснована на карактеризацији ЕКГ и ИКГ сигнала се ослања на делинеацију карактеристичних тачака и параметризацију сигнала. Карактеристичне тачке ЕКГ и ИКГ сигнала су карактеристични тренуци током активности срца [6,17] и служе за израчунавање обележја, тј. параметре у временском, фреквенцијском и геометријском домену која, у општем случају, не морају имати клинички значај [4,20]. Издвојена обележја се даље користе за доношење одлука путем статистичке анализе или применом машинског учења [17,18,20]. Значај студије која ће бити представљена у докторској дисертацији, огледа се у опсежној компаративној анализи модела машинског учења, детаљним објашњењем и дискусијом хиперпараметара одабраних модела, као и испитивањем утицаја подскупа

параметара (обележја издвојена из ЕКГ сигнала, ИКГ сигнала или комбиновано - скуп обележја издвојених из оба сигнала) на успешност класификације субјеката. Очекивано, одабир хиперпараметара који повећавају успешност модела машинског учења је уско повезан са природом података који се користе за обучавање модела, што је у складу са препорукама у [21–23] и што ће представљати предмет дискусије у докторској дисертацији. Вредност предложене студије, која ће бити саставни део докторске дисертације је и у томе што ће на конкретном примеру обележја ЕКГ и ИКГ сигнала бити показана веза између подкупа обележја и одабраних хиперпараметара. Додатно, значај студије ће се огледати у јединственом испитивању утицаја емоција на биометријску идентификацију испитаника.

Кардиографски сигнали су псеудопериодични сигнали са карактеристичним комплексима, као што су *QRS* комплекс у ЕКГ сигналу или *BCX* комплекс у ИКГ сигналу. Карактеристични комплекси се понављају са променљивом учестаношћу, те се издвајање обележја, у случају мањег присуства шума (статички услови мерења), сматра релативно једноставним задатком. Међутим, кардиограми су изузетно осетљиви на промене у организму и у окружењу, тако да се издвојена обележја могу осетно мењати у зависности од емотивног стања испитаника, физичке активности, здравственог статуса и других фактора [24,25]. С обзиром да је утицај емоција на већину кардиографских сигнала и карактеристичних кардиографских параметара познат у научној литератури [3,26], утицај емоција на биометријску идентификацију представља значајан правац у истраживању. У докторској дисертацији ће кроз примену модела машинског учења, бити приказан утицај емоција на успешност идентификације испитаника. Овај закључак би у великој мери могао да утиче на примену биометријске идентификације, која се заснива на кардиографским сигнаlima. У даљем раду биће показано да ли постоји статистички значајан утицај емоција на одабрана обележја кардиографских сигнала.

Резултати студије, која ће бити представљена у оквиру докторске дисертације испитиваће редундантност обележја из ЕКГ и ИКГ сигнала за успешност класификације применом алгоритама машинског учења. Постојећи одабир обележја у прелиминарној студији из оба сигнала је мотивисао наставак истраживања у вези са докторском дисертацијом [18], у којима ће посебна пажња бити посвећена формирању нове проширене колекције параметара. Како би се издвојио одговарајући подкуп најинформативнијих обележја из ЕКГ и ИКГ сигнала појединачно, али и обележја насталих из интеракције ова два сигнала, спровешће се експлоративна анализа параметара кардиографских сигнала. Планирано истраживање ће бити допуњено и резултатима коришћења метода за естимацију значаја обележја, које се заснивају на примени алгоритама вештачке интелигенције, а по угледу на приступ примењен у [27].

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе у овом истраживању су:

- Могуће је модификовати *PT* алгоритам са циљем детекције *QRS* комплекса феталног ЕКГ сигнала из аЕКГ сигнала у условима појачаног утицаја шума.
- ИКГ сигнал има потенцијал за примену у биометрији.
- Комбиновање обележја из ЕКГ и ИКГ сигнала ће резултовати класификацији са већим успехом при биометријској идентификацији појединаца у односу на реализације које користе обележја из само једног кардиограма.
- Промена емотивног стања има значајан утицај на кардиографска обележја и биометријску идентификацију.
- Одабир хиперпараметара и модела за биометријску идентификацију засновану на кардиографским сигнаlima, може значајно утицати на успешност класификације.
- Анализа информативности нове колекције обележја поспешује перформансе система одлучивања у области биометријске идентификације.

4. Научне методе истраживања

Иницијално истраживање на аЕКГ сигнаlima, које ће бити представљено у докторској дисертацији, има за циљ унапређење алгоритма за детекцију срчаног ритма фетуса, као и развој и евалуацију параметара за оцену истакнутости и зашумљености *QRS* комплекса феталног ЕКГ сигнала (у даљем тексту: квалитет феталног ЕКГ сигнала). У овом делу дисертације, биће илустровано коришћење сигнала из отвореног скупа података, креираног за *Computing in Cardiology Challenge 2013*, који су доступни у оквиру *PhysionNet* репозиторијума [28,29]. Примена фракционог извода и *MA* филтра са циљем оптималног подешавања пропусног опсега *QRS* комплекса феталног ЕКГ сигнала, потискивање ЕКГ сигнала труднице из аЕКГ сигнала и детекција пикова феталног ЕКГ сигнала потребних за карактеризацију срчаног ритма ће бити представљена у дисертацији. Успешност елиминације шума ће бити илустрована применом параметара за оцењивање квалитета феталног ЕКГ сигнала и статистичком анализом. У складу са принципима отворене науке, програмски кодови за реализацију методе, као и аотирани пикови *QRS* комплекса труднице биће јавно подељени.

Иницијално развијене методе карактеризације кардиографских сигнала [18] примењене на ЕКГ и ИКГ сигнаlima који су мерени на Филозофском факултету, Универзитета у Београду за потребе студије која је имала за циљ детекцију емоција применом метода анализе електрофизиолошких сигнала код здравих испитаника ће бити представљене у докторској дисертацији. Сви учесници студије су потписали информисану сагласност за учешће у истраживањима, у складу са Хелсиншком декларацијом и у складу са чланом 19. Кодекса професионалне етике Универзитета у Београду. Етички одбор Одељења за психологију са Филозофског факултета, Универзитета у Београду је одобрио студију (бр. 2018-19) [30]. База сигнала, на којој ће бити илустроване методе анализе сигнала у докторској дисертацији се састоји од синхроно мерених ЕКГ и ИКГ сигнала на 202 здрава испитаника. Детаљна анализа сигнала са циљем издвајања одабраних обележја из ЕКГ и ИКГ сигнала и њихова примена у биометријској идентификацији особа ће бити приказана у дисертацији. Детаљна анализа сигнала укључује детекцију карактеристичних тачака и издвајања опсежног скупа обележја за биометријску идентификацију. У оквиру истраживања, биће представљена и спроведена детаљна компаративна анализа одабраних модела машинског учења са акцентом на испитивање утицаја скупа обележја издвојених из ЕКГ и ИКГ сигнала. Такође, значајан допринос дисертације представљаће испитивање утицаја промене емотивног стања испитаника на успешност биометријске идентификације испитаника. Додатан допринос дисертације биће јавно подељена база ЕКГ и ИКГ сигнала, програмски кодови за реализацију методе, као и детаљан опис и дискусија хиперпараметара, који би омогућили рачунарску поновљивост резултата што ће поспешити транспарентност и даље истраживање у области.

У оквиру докторске дисертације, биће представљено истраживање са циљем проширења постојећег скупа параметара новим обележјима. На проширеном скупу биће спроведена додатна анализа са циљем идентификације најинформативнијих карактеристика за ефикаснији процес одлучивања, применом експлоративне анализе сигнала и метода за процену значаја обележја. Квантитативна оцена утицаја подскупова обележја на претходно одабран модел машинског учења ће бити реализована за примену у биометријским системима.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси докторске дисертације су:

- Развој модификованог *PT* алгоритма за детекцију срчаног ритма фетуса из аЕКГ сигнала, базираног на фракционом изводу и *MA* филтру.
- Предлог нових параметара за оцењивање квалитета феталног ЕКГ сигнала који се издваја из аЕКГ сигнала.
- Испитивање примене издвојених ЕКГ и ИКГ параметара са циљем примене у биометријској идентификацији.

- Резултати утицаја промене емоција код испитаника на успешност биометријске идентификације реализоване применом метода за карактеризацију ЕКГ и ИКГ сигнала.
- Одабир хиперпараметара и модела прилагођених успешном доношењу одлука коришћењем кардиографских сигнала и метода машинског учења за примену у биометрији.
- Реализација иновативних метода за одабир скупа најинформативнијих обележја из проширене и нове колекције параметара који су издвојени из ЕКГ и ИКГ сигнала са циљем процене идентитета испитаника.
- Дискусија о примени развијених нових метода за карактеризацију кардиографских сигнала у дијагностици и биометрији.

6. План истраживања и структура рада

Прва фаза предложеног истраживања је концентрисана на развој алгоритама за детекцију срчаног ритма фетуса. Истраживање је фокусирано на реализацији нових метода које омогућавају оптимизацију реда фракционог извода и ширине прозора за примену *МА* филтра са циљем што тачније детекције позиције *QRS* комплекса феталног ЕКГ сигнала у односу на аотиране локације *QRS* комплекса. Додатно, прва фаза истраживања укључује и развијање иновативних параметара за процену квалитета феталног ЕКГ сигнала, који је издвојен из аЕКГ сигнала.

Друга фаза истраживања је фокусирана на развој метода за биометријску идентификацију особа коришћењем обележја издвојених из кардиографских сигнала. Посебна пажња, у овој фази је посвећена одабиру одговарајућег модела машинског учења и испитивању утицаја подскупа параметара добијених из ЕКГ и ИКГ сигнала на успешност класификације. У оквиру друге фазе, испитивање утицаја промене емотивног стања испитаника на успешност биометријске идентификације испитаника ће бити укључено у истраживање.

Трећа фаза ће обухватити проширење постојеће колекције параметара новим обележјима и опсежну анализу информативности обележја са циљем идентификације најинформативнијег подскупа параметара, односно одабир одговарајућих обележја добијених применом метода за карактеризацију ЕКГ и ИКГ сигнала. Истраживање ће обухватити методе експлоративне анализе и методе процену значаја обележја које се заснивају на примени машинског учења.

Списак коришћене литературе:

- [1] Crawford MH, Bernstein SJ, Deedwania PC, DiMarco JP, Ferrick KJ, Garson A, et al.: *ACC/AHA guidelines for ambulatory electrocardiography*. Journal of the American College of Cardiology 1999;34:912–48. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(99\)00354-X](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(99)00354-X).
- [2] Sandau KE, Funk M, Auerbach A, Barsness GW, Blum K, Cvach M, et al.: *Update to practice standards for electrocardiographic monitoring in hospital settings: a scientific statement from the American Heart Association*. Circulation 2017;136:e273–344. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000527>.
- [3] Cacioppo JT, Tassinary LG, Berntson G.: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge university press; 2007.
- [4] Tejedor J, García CA, Márquez DG, Raya R, Otero A.: *Multiple Physiological Signals Fusion Techniques for Improving Heartbeat Detection: A Review*. Sensors 2019;19:4708. <https://doi.org/10.3390/s19214708>.
- [5] Li H, Wang X, Liu C, Li P, Jiao Y.: *Integrating multi-domain deep features of electrocardiogram and phonocardiogram for coronary artery disease detection*. Computers in Biology and Medicine 2021;138:104914. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104914>.
- [6] Sherwood A, Allen MT, Fahrenberg J, Kelsey RM, Lovullo WR, Van Doornen LJ.: *Methodological guidelines for impedance cardiography*. Psychophysiology 1990;27:1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1990.tb02171.x>.
- [7] Chabchoub S, Mansouri S, Ben Salah R.: *Signal processing techniques applied to impedance cardiography ICG signals – a review*. Journal of Medical Engineering & Technology 2022;46:243–60. <https://doi.org/10.1080/03091902.2022.2026508>.
- [8] Kaszuba E, Scheel S, Odeberg H, Halling A.: *Comparing impedance cardiography and echocardiography in the assessment of reduced left ventricular systolic function*. BMC Res Notes 2013;6:114. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-6-114>.
- [9] Filipović N, Šušteršić T, Milošević M, Milićević B, Simić V, Prodanović M, et al.: *SILICOFCM platform, multiscale modeling of left ventricle from echocardiographic images and drug influence for cardiomyopathy*

- disease. Computer Methods and Programs in Biomedicine 2022;227:107194. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107194>.
- [10] Andreotti F, Riedl M, Himmelsbach T, Wedekind D, Wessel N, Stepan H, et al. *Robust fetal ECG extraction and detection from abdominal leads*. Physiol Meas 2014;35:1551–67. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/8/1551>.
 - [11] Varanini M, Tartarisco G, Billeci L, Macerata A, Pioggia G, Balocchi R.: *An efficient unsupervised fetal QRS complex detection from abdominal maternal ECG*. Physiol Meas 2014;35:1607–19. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/8/1607>.
 - [12] Nagel JH, Shyu LY, Reddy SP, Hurwitz BE, McCabe PM, Schneiderman N.: *New signal processing techniques for improved precision of noninvasive impedance cardiography*. Ann Biomed Eng 1989;17:517–34. <https://doi.org/10.1007/BF02368071>.
 - [13] Pan J, Tompkins WJ.: *A Real-Time QRS Detection Algorithm*. IEEE Trans Biomed Eng 1985;BME-32:230–6. <https://doi.org/10.1109/TBME.1985.325532>.
 - [14] Andreotti F, Grasser F, Malberg H, Zaunseder S.: *Non-invasive Fetal ECG Signal Quality Assessment for Multichannel Heart Rate Estimation*. IEEE Trans Biomed Eng 2017;64:2793–802. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2675543>.
 - [15] Miljković N, Popović NB, Djordjevic O, Konstantinović Lj, Šekara TB.: *ECG artifact cancellation in surface EMG signals by fractional order calculus application*. Computer Methods and Programs in Biomedicine 2017;140:259–64. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.12.017>.
 - [16] Attia ZI, Friedman PA, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, Ladewig DJ, Satam G, et al.: *Age and Sex Estimation Using Artificial Intelligence From Standard 12-Lead ECGs*. Circ: Arrhythmia and Electrophysiology 2019;12:e007284. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.119.007284>.
 - [17] Israel SA, Irvine JM, Cheng A, Wiederhold MD, Wiederhold BK.: *ECG to identify individuals*. Pattern Recognition 2005;38:133–42. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2004.05.014>.
 - [18] Antić M, Popović NB, Milosavljević N, Dubljević O, Bjegojević B, Miljković N.: *CardioPRINT: Individual features hidden in electrocardiogram and impedance-cardiogram*. Empirical Studies in Psychology 2020;13.
 - [19] Rathore AS, Li Z, Zhu W, Jin Z, Xu W.: *A Survey on Heart Biometrics*. ACM Comput Surv 2021;53:1–38. <https://doi.org/10.1145/3410158>.
 - [20] Boljanić T, Miljković N, Lazarevic LjB, Knežević G, Milašinović G.: *Relationship between electrocardiogram-based features and personality traits: Machine learning approach*. Noninvasive Electrocardiol 2022;27:e12919. <https://doi.org/10.1111/anec.12919>.
 - [21] Géron A.: *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. O'Reilly Media, Inc.; 2022.
 - [22] Agrawal T.: *Hyperparameter optimization in machine learning: make your machine learning and deep learning models more efficient*. Springer; 2021.
 - [23] Guyon I, Elisseeff A.: *An introduction to variable and feature selection*. Journal of Machine Learning Research 2003;3:1157–82.
 - [24] Blascovich J, Vanman E, Mendes WB, Dickerson S.: *Social psychophysiology for social and personality psychology*. Sage Publications; 2011.
 - [25] Simoons ML, Hugenholtz PG.: *Gradual changes of ECG waveform during and after exercise in normal subjects*. Circulation 1975;52:570–7. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.52.4.570>.
 - [26] Sheikh SA, Shah AJ, Bremner JD, Vaccarino V, Inan OT, Clifford GD, et al. *Impedance cardiogram based exploration of cardiac mechanisms in post-traumatic stress disorder during trauma recall*. Psychophysiology 2024;61:e14488. <https://doi.org/10.1111/psyp.14488>.
 - [27] Patro KK, Jaya Prakash A, Jayamanmadha Rao M, Rajesh Kumar P.: *An Efficient Optimized Feature Selection with Machine Learning Approach for ECG Biometric Recognition*. IETE Journal of Research 2022;68:2743–54. <https://doi.org/10.1080/03772063.2020.1725663>.
 - [28] Silva I, Behar J, Sameni R, Zhu T, Oster J, Clifford GD, et al.: *Noninvasive fetal ECG: the PhysioNet/computing in cardiology challenge 2013*. Computing in cardiology 2013, IEEE; 2013, p. 149–52.
 - [29] Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, et al.: *PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals*. Circulation 2000;101. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.23.e215>.
 - [30] Bjegojević B, Milosavljević N, Dubljević O, Purić D, Knežević G.: *In pursuit of objectivity: Physiological measures as a means of emotion induction procedure validation*. Empirical Studies in Psychology 2020;17. University of Belgrade - Faculty of Philosophy, Proceedings of the XXVI Scientific Conference Empirical studies in Psychology. http://empirijskaistrazivanja.org/wp-content/uploads/2021/04/EIP2020_conf_proceedings.pdf.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације и целокупног стеченог утиска о теми докторске дисертације током одбране теме докторске дисертације и досадашњег рада кандидата Илије Танасковића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија је дошла до следећих закључака:

- Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду, за израду докторске дисертације.
- Предложена тема „Карактеризација кардиографских сигнала методама статистичке анализе и машинског учења” јесте научно заснована, а резултати који ће проистећи израдом ове докторске дисертације представљају значајан и оригиналан допринос међународној научној заједници. Тема припада ужој научној области Обрада сигнала у биомедицинском инжењерству.

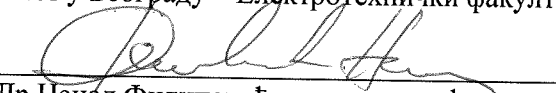
На основу свега предложеног, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета, Универзитета у Београду, као надлежном за научну област обраде сигнала у биомедицинском инжењерству, да кандидату Илији Танасковићу одобри израду докторске тезе под називом „Карактеризација кардиографских сигнала методама статистичке анализе и машинског учења” (енг. *“Characterization of cardiographic signals using methods of statistical analysis and machine learning”*), под менторством др Надице Миљковић, ванредне професорке Електротехничког факултета, Универзитета у Београду.

Датум: 26.08.2024. године у Београду

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



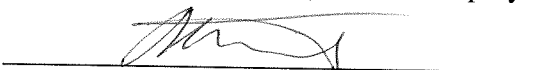
Др Томислав Шекара, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



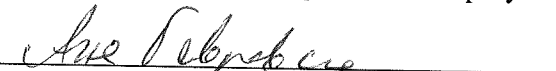
Др Ненад Филиповић, редовни професор
Универзитет у Крагујевцу – Факултет инжењерских наука



Др Лазар Сарановац, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



Др Вељко Папић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



Др Ана Гавровска, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет