

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Мохамеда Мароуфа, мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације

"Апроксимација и адаптивно смањење високофреквентног шума у ЕКГ сигнаlima",

односно

"High Frequency Noise Approximation and Adaptive Reduction in the ECG signals".

Одлуком бр. 5048/11-1 од 25.04.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Мохамеда Мароуфа за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Апроксимација и адаптивно уклањање шума у ЕКГ сигнаlima". На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата и одржане јавне усмене одбране теме, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Подаци о кандидату

Мохамед Мароуф је рођен 08.07.1986. године у месту Рабоу у Сирији. Основну школу је завршио 2000. године у Рабоу, а средњу у Масуафу 2004. године. Уписао је Електротехнички факултет 2004. године у Алепу где је дипломирао 2009. године на Одсеку за електронику-рачунарску инжењеринг са просеком 76.6%, што се сматра као врло добар просек на факултету. Дипломски рад под називом "*Distributed Data base System Realization*" је одбранио са оценом 93 под менторством Др Хиана Хоусрама. Служио је војску у Сиријској Армији од 2010. до 2011. године где је делимично радио на образовању нових кадета у предметима Основне електронике и Рачунарство.

Добио је стипендију да заврши докторске студије у Србији од Српске и Сиријске владе у оквиру програма "Свет у Србији". Српски језик је учио у периоду од 1. фебруара 2011. до 5. јула 2011. године. Докторске студије је уписао 2011. године на Електротехничком Факултету у Београду. Ментор на докторским студијама му је проф. др Лазар Сарановац.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

На докторским студијама Мохамед Мароуф је положио следеће предмете:

	Назив предмета	оцена	ЕСПБ
1	Класификација и естимација сигнала	10	9
2	Увод у научни рад	10	6
3	Линеарне и нелинеарне методе анализе сигнала	10	9
4	Фазно синхронисане петље	10	9
5	Обрада мултимедијалних сигнала	10	9
6	Одабрана поглавља из дигиталне обраде сигнала	10	9

7	Нумеричка Анализа	10	9
8	Пројектовање интегрисаних кола и система	10	9
9	Пројектовање наменских рачунарских система	10	9
10	Наменске сензорске мреже	10	9

и испунио остале обавезе дефинисане студијским програмом за прве две студијске године. Тренутно је трећа година докторских студија.

Област истраживања Мохамеда Мароуфа обухвата дигиталну обраду биомедицинских сигнала, машинско учење, и биоинформатику. За време својих докторских студија радио је у различитим домаћим и страним компанијама у области свог истраживања. Један од пројеката на којима је кандидат био ангажован је дизајн новог уређаја за снимање ЕКГ сигнала у ситуацији појаве аритмије (*post-event recorder*) у фирми НТЕС.

Досадашњи резултати кандидата приказани су кроз неколико публикација. У даљем тексту је наведен списак публикација на којима је Мохамед Мароуф коаутор (први аутор у 5 од 6 публикованих радова).

M23:

1. Mohamed Marouf, Lazar Saranovac, Goran Vukomanovic, "Algorithm for EMG Noise level Approximation in ECG Signals", Biomedical Signal processing and Control, Vol.43, pp. 158-165, 2017.

M33:

2. Mohamed Marouf, Jelena Popović Božović, Ivan Popović, "FPGA Implementation of Neural Network Processing Element in Ice Detector", NEUREL 2012, 11th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering, pp. 81 - 84, Belgrade, 2012.

M63:

3. Dragomir El Mezeni, Mohamed Marouf, Lazar Saranovac, "Adaptive wavelet based edge detection in noisy images", INFOTEN-JAHORINA Vol. 13, March 2014, pp. 683-688.
4. Mohamed Marouf, Ivan Popović, "Ice Detector Embedded System Design", ETRAN, pp. MO3.5, Zlatibor, 2012.

У процесу рецензије:

5. Mohamed Marouf, Lazar Saranovac, Goran Vukomanovic, Miroslav Bozic "Multi-purpose ECG telemetry system".
6. Mohamed Marouf, Lazar Saranovac, "Adaptive noise reduction in ECG signals using translation-invariant noise level approximation".

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Одбрана приступног рада за израду дисертације

Дана 08.05.2017. године Мохамед Мароуф је бранио подобност теме и кандидата (докторски испит) пред комисијом у саставу: др Милан Прокин, редовни професор Електротехничког факултета у Београду, др Миодраг Поповић, редовни професор у пензији Електротехничког факултета у Београду, др Миријана Поповић редовни професор у пензији Електротехничког факултета у Београду, др Јелена Поповић-Божовић, доцент Електротехничког факултета у Београду. Комисија је једногласно закључила да су кандидат и тема подобни за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду, и предложила промену наслова у: "Апроксимација и адаптивно смањење високофреквентног шума у ЕКГ сигнаlima".

Током писања овог Извештаја, Комисија је узела у обзир све наведене чињенице и резултате досадашњег рада кандидата Мохамед Мароуфа. Такође су са посебном пажњом размотрена искуства која је стекао, како кроз образовни, тако и кроз истраживачки процес. Кандидат поседује самосталност у истраживању и брзо и ефикасно усваја нова знања. До сада је кандидат положио све испите на докторским студијама са просечном оценом 10. Поред тога, кандидат је пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, на

јавној усменој одбрани, успешно положио докторски испит, одржан 08.05.2017.

На основу наведених резултата кандидата, наша је процена да је кандидат Мохамед Мароуф способна да успешно реализује и заврши израду докторске дисертације.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Предмет и циљ истраживања

Електрокардиограм (ЕКГ) је један од најважнијих неинвазивних алата за дијагнозу срчаних болести. Он приказује снимљене електричне импULSE који стимулишу рад срца. Такви електрични импULSE представљају различите периоде срчаног рада што се одликује преко функције главних делова срца као што су преткоморе и коморе. Током сваког откуцаја, здраво срце пролази кроз процес деполаризације који потиче из ћелија синоатриалног чвора. Деполаризација се шири кроз преткомору до атриовентрикуларног чвора и затим пролази кроз Пуркинијева влакна до миокардне ћелије у коморама. Током преношења кроз различите делове срца деполаризација и потом реполаризација се дешавају према неком темплејту који својом морфологијом и брзином карактерише ЕКГ сигнал. ЕКГ сигнал садржи велику количину информација о структури и раду срца. Примене ЕКГ сигнала су доста бројне, између осталог користи се за мерење брзине и ритма откуцаја срца, величине и положаја срчаних комора, присуства било каквог оштећења на мишићним ћелијама срца и проводљивости система, ефеката срчаних лекова, као и контролу рада срчаног пејсмејкера.

Последњих година снимање ЕКГ сигнала, користећи амбулантни ЕКГ уређај, је постало актуелније захваљујући телемедицини и коришћењу сувих електрода за аквизицију сигнала. Количина сигнала која треба да се обради је огромна што захтева развијање алгоритама за аутоматску анализу и интерпретацију *long-term* снимљених сигнала, као и за *real-time* анализу и интерпретацију *short-term* сигнала. Перформансе таквих алгоритама зависе од тачног препознавања карактеристичних делова ЕКГ сигнала (делинеација) као што су таласи (P, Q, R, S, T, J). Иако постоје различити алгоритми за ту сврху који су постигли добар ниво тачности, перформансе таквих алгоритама се погоршавају у присуству шума. Различити несрчани шумови утичу на ЕКГ сигнале током њихове аквизиције. Шумови и артефакти су главни узроци непрецизне делинеације што значи и непрецизне класификације срчаних откуцаја, а то доводи до лажних аларма и анализе са обманујућим резултатима.

Главни извори шума су сметње услед покрета (*motion artifacts*), сметње мреже, плутање средње вредности (*baseline wandering*), и ЕМГ шум изазиван померањем мишића на зиду грудног коша. На жалост, извори шума се преклапају са срчаним компонентама у фреквентном домену посебно у опсегу од 0.01 до 100 Hz, што отежава процес анализе ЕКГ сигнала.

Естимација и побољшање квалитета сигнала обезбеђује бољу детекцију и класификацију откуцаја срца, а самим тим омогућава смањење броја лажних аларма добијених од алгоритма за интерпретацију сигнала и детекцију аритмија. Истовремено се омогућује и детектовање оних срчаних откуцаја који су маскирани шумом. За разлику од мрежног шума (*network interference*) и померања средње вредности (*baseline wandering*) са познатим учестаностима које треба филтрирати из опсега ЕКГ сигнала, ЕМГ шум и сметње услед покрета (*motion artifacts*) је теже идентификовати и елиминисати користећи линеарне методе, због нестационарне природе ових шума и великог преклапања на фреквентном опсегу ЕКГ и ЕМГ сигнала.

Фокус у овој дисертацији ће бити само једна врста шума, односно шум високофреквентног домена који карактерише ЕМГ шум. Наравно, шум високих учестаности у ЕКГ сигнаlima потиче и из других различитих извора што значи да свака врста шума има своју природу коју треба посебно процесирати.

Циљ представљеног истраживања је одређивање транслационо инваријанте апроксимације величине шума унутар ЕКГ сигнала. Идеја је да се креира сигнал чија амплитуда апроксимативно представља тренутни ниво шума у ЕКГ сигналу. Највећи изазов представљају одређене аритмије које карактерише брза срчана активност (нпр. *atrial fibrillation*, *torsades de pointes*) и чија је морфологија и учестаност врло слична ЕМГ шуму.

Постојање сигнала којим се апроксимира ниво шума у ЕКГ сигналу отвара прстор за адаптивно

филтрирање и уклањање шума. Адаптивна редукција шума омогућава очување високофреквентних компоненти ЕКГ сигнала у мање зашумљеним деловима док је шум значајно потиснут у јако зашумљеним деловима сигнала. За разлику од постојећих алгоритама за адаптивно уклањање шума из ЕКГ сигнала, предложени алгоритам узима у обзир морфологију ЕКГ сигнала у случају појаве аритмија. То повећава поузданост алгоритма и омогућава његово коришћење у анализи ЕКГ сигнала у реалном времену.

2.2. Полазне хипотезе

Естимација квалитета ЕКГ сигнала представља активну област истраживања без обзира на то што обрада ЕКГ сигнала постоји већ од почетка прошлог века. Различити приступи се могу наћи у литератури за решавање овог проблема. Неки од њих су нелинеарне методе које су дизајниране са циљем да буду применљиве за све врсте шума, док су други посебно дизајнирани за детекцију ЕМГ шума у сигналу што је циљ ове дисертације. Једна група тих приступа за естимацију нивоа шума у ЕКГ сигнаlima састављена је од метода које зависе од особине периодичности ЕКГ сигнала у циљу налажења пројекције оног откуцаја који представља „чист“ ЕКГ откуцај.

Најпознатија метода у тој групи је налажење доминантог откуцаја усредњавањем поређаних откуцаја у неком интервалу што захтева тачну детекцију QRS комплекса [1]. Прво се детектују откуцаји или QRS комплекси у сигналу. Након тога се поређају као вектори и рачуна се средња вредност која представља доминантни откуцај. Разлика између доминантог и осталих откуцаја у сигналу се сматра као естимација нивоа шума у сигналу.

Друга битна метода која исто зависи од периодичности ЕКГ сигнала је примена "*Karhunen-Loeve*" (KL) трансформације [2]. Она се примењује на поређане откуцаје из једног ЕКГ сигнала, 200ms око QRS комплекса у векторском облику. Након тога се користи 5 најкорелисанијих базних функција добијених из трансформације са поређаним откуцајима које се користе касније за пројекцију сваког откуцаја у сигналу. Те базне функције се сматрају као основа, база, са којима би се могао пројектовати сваки откуцај као њихова линеарна комбинација. Сваки откуцај после пројекције са добијеним базама, у зависности од свог морфолошког облика, има грешку пошто је пројектован са само 5 базних функција (*truncated KLT*). Та разлика се сматра естимацијом шума у откуцају.

Други приступ за естимацију нивоа шума у ЕКГ сигнаlima предлаже коришћење просечне снаге (*average power*) T-P интервала подељеног са просечном снагом QRS комплекса за сваки откуцај у ЕКГ сигналу, што је названо чистоћа откуцаја у сигналу [3]. Аутори су предложили коришћење ове методе за естимацију квалитета сигнала приликом избора најбољег канала за даљу анализу.

Претходно наведене методе зависе од тачности детекције QRS комплекса у сигналу што зависи од квалитета сигнала. Резултати ових метода могу бити прилично лоши у сигнаlima где квалитет сигнала не дозвољава прецизну детекцију QRS комплекса због тога што лажно детектовани, или недетектовани, откуцаји погоршавају тачност пројекције добијене од групе откуцаја. Такође, такве методе се не показују као добре код примене на сигнаlima снимљеним у малим интервалима где нема довољног броја добрих откуцаја за проналажење и одређивање доминантне пројекције откуцаја. Други проблем ових методологија су лажни аларми на шум у случају аритмије зато што је пројекција дефинисана најдоминантнијом морфологијом у сигналу што је углавном морфологија нормалног откуцаја.

Од метода који дају добре резултате и не зависе од QRS детекције издваја се метода која се базира на куртосису [4]. У овој методи Гаусова дистрибуција амплитуде сигнала се израчунава и користи као процена квалитета под претпоставком да су ЕКГ сигнали *hiper-Gaussian*. Веће вредности куртосиса су повезане са лошијим квалитетом ЕКГ сигнала и обрнуто. Иако ова метода даје добре резултате и не захтева детекцију QRS комплекса, она не може да се користи за локалну естимацију шума јер је њен временски опсег израчунавања прилично велики пошто она захтева рачунање дистрибуције амплитуда на великом делу сигнала како би се поуздано одредио куртосис.

Методологија заснована на комбинацији коришћења фреквентног садржаја и амплитуде

сигнала је представљена у [5]. Енергија сигнала се у овој методи рачуна у шест фреквентних опсега (0.05-0.25, 0.25-10, 10-20, 20-48, 48-52, и 52-100 Hz), затим се рачуна колико пута сигнал прелази преко предефинисаних прагова (*out-of-range events*) и на основу тога се естимира квалитет сигнала у односу на шум. Ова методологија има за циљ да реши проблем користећи информације фреквентног опсега и амплитуде самог сигнала, међутим, због нестационарности ЕКГ сигнала немогуће је естимирати шум рачунањем фреквентног опсега користећи Фуријеову трансформацију. Због тога се ова метода не може користити за локалну естимацију нивоа шума у ЕКГ сигнаlima.

На основу претходно изложених идеја, закључак је да је потребно креирати методу која може да апроксимира ниво шума у сигналу кроз време. Један од најпознатијих алата за транслационо инваријантну анализу је SWT (*stationary wavelet transform*) [6]. За разлику од DWT (*dyadic wavelet transform*), SWT чува временску резолуцију (*temporal resolution*) и временску инваријантност (*time invariance*) излаза (*output*) коришћених филтера. То омогућава мултирезолуцијску анализу и анализу у временском домену кад се имплементира као банка филтера користећи "*algorithme à trous*" приступ [6].

Варијације амплитуда у ЕКГ сигнаlima се рефлектују у детаљима SWT кроз различите скале као проласци кроз нулу (*zero-crossings*), локални максимуми (*peaks*) и локални минимуми (*valleys*). Детаљи у свакој скали презентују другу половину фреквентног опсега претходне скале. То значи да детаљи прве скале обухватају другу (вишу) половину фреквентног опсега ЕКГ сигнала док друга скала обухвата другу половину фреквентног опсега, итд. С обзиром на фреквентне опсеге ЕКГ сигнала и ЕМГ шума [7,8], детаљи друге скале обухватају цео фреквентни опсег ЕМГ шума, али се поклапају и са фреквентним опсегом ЕКГ сигнала, а поготово QRS комплекса узимајући у обзир учестаност одабирања од 250 Hz.

Међутим, уколико ЕКГ компоненте могу да се издвоје, у овој скали може да се добија остатак који представља ЕМГ шум у ЕКГ сигналу. У циљу издвајање ЕКГ компоненти из ове скале предвиђена је мултирезолуцијска анализа да би се детектовало што је могуће више компоненти из ЕКГ сигнала [9]. Након тога ће бити урађена апроксимација шума користећи остале варијације које дају детаљи у другој скали (*zero-crossings, peaks, valleys*).

1. Iravanian S, Tung L, "A novel algorithm for cardiac biosignal filtering based on filtered residue method," IEEE transactions on biomedical engineering, Vol. 49, pp. 1310-1317, Nov. 2002.
2. Moody GB, Mark RG, "QRS morphology representation and noise estimation using the Karhunen-Loeve transform," Computers in Cardiology 1989, Proceedings. IEEE, pp. 269-272, 1989.
3. Chiarugi F, Sakkalis V, Emmanouilidou D, Krontiris T, Varanini M, Tollis I, "Adaptive threshold QRS detector with best channel selection based on a noise rating system," Computers in Cardiology. Proceedings IEEE, pp. 157-160, 2007.
4. del Río BA, Lopetegi T, Romero I, "Assessment of different methods to estimate electrocardiogram signal quality," Computing in Cardiology. Proceedings IEEE, pp. 609 – 612, 2011.
5. Allen J, Murray A, "Assessing ECG signal quality on a coronary care unit," Physiological measurement, Vol. 17, p. 249-258, Nov. 1996.
6. Shensa MJ, "The discrete wavelet transform: wedding the trous and Mallat algorithms," IEEE Transactions on signal processing, Vol. 40, pp. 2464-2482, Oct. 1992.
7. Thakor NV, Webster JG, Tompkins WJ, "Estimation of QRS complex power spectra for design of a QRS filter," IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol. BME-31, pp. 702-706, Nov. 1984.
8. Mallat S, Zhong S., "Characterization of signals from multiscale edges," IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 14, pp. 710-732, Jul. 1992.
9. Martínez JP, Almeida R, Olmos S, Rocha AP, Laguna P, "A wavelet-based ECG delineator: evaluation on standard databases," IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol. 51, pp. 570-581, Apr. 2004.

2.3. Научне методе истраживања

У склопу овог истраживања, најпре ће бити дат структуриран преглед најважнијих постојећих метода за апроксимацију нивоа шума у ЕКГ сигнаlima. Преглед ће бити урађен са циљем налажења предности и недостатака сваке од метода. Након тога ће бити представљени проблем и циљеви који ће бити фокус ове дисертације.

Апроксимација шума ће бити представљена као референтни сигнал који ће пратити ЕКГ сигнал и присуство шума кроз време. *Translation-invariance* или апроксимација кроз време ће бити постигнута користећи SWT што омогућава мултирезолуцијску анализу. Два режима алгоритма су фокус истраживања: први режим је *QRS excluded* режим, где су делови сигнала препознати као велике фреквентне компоненте изостављени из рачунања кад се ради налажење пролазака кроз нулу (*zero-crossings*), локалних максимума (*peaks*) и локалних минимума (*valleys*), док се у другом режиму цео сигнал узима у обзир за прорачун. У сваком режиму референтни сигнал ће бити нормализован користећи два прага који су одређени познатим статистичким методама на основу анализа ЕКГ интервала са различитим аритмијама. Сваки режим има своју примену у систему за обраду ЕКГ сигнала. Те примене ће бити представљене у дисертацији.

Главни део ове дисертације представља примену референтног сигнала у оквиру адаптивног уклањања ЕМГ шума. Уклањање шума ће бити урађено тако што се референтни сигнал користи за контролу нивоа филтрирања.

У циљу верификације алгоритма за апроксимацију шума и алгоритма за адаптивно отклањање шума, у дисертацији ће бити представљена и хардверска имплементација амбулантног ЕКГ уређаја са различитим режимима рада и са различитим типовима електрода. ЕКГ сигнали за верификацију ће бити снимљени помоћу овог уређаја, али ће такође бити коришћени и сигнали из MIT-BIH базе аритмија [11].

Резултати алгоритма за апроксимацију нивоа шума прво ће бити упоређени са најпознатијим методама за естимацију нивоа шума [1-7], а након тога ће бити коришћене друге метрике у циљу верификације [10]. Неке од тих метрика ће бити нове, одговараће новој методологији апроксимације шума кроз време. Након тога ће бити урађена верификација алгоритма за адаптивно филтрирање. Резултати овог алгоритма ће бити упоређени са најпознатијим методама за решавање овог проблема [12-19]. Поред поређења са другим методама, резултати редукације шума ће бити и упоређени коришћењем клинички прихватљиве метрике [10].

10. Clifford GD, Behar J, Li Q, Rezek I, "Signal quality indices and data fusion for determining clinical acceptability of electrocardiograms," *Physiological measurement*, Vol. 33, p.1419-1433, Aug 2012.
11. Goldberger AL, Amaral LA, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PC, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng CK, Stanley HE, "Physiobank, physiotoolkit, and physionet components of a new research resource for complex physiologic signals," *Circulation*, Vol. 101, pp. 215-220, Jun. 2000.
12. Agante PM, De Sá JM, "ECG noise filtering using wavelets with soft-thresholding methods," *Computers in Cardiology. IEEE*, 1999.
13. Poornachandra S, "Wavelet-based denoising using subband dependent threshold for ECG signals," *Digital signal processing*, Vol. 18, pp. 49-55, 2008.
14. Nikolaev N, Gotchev A, Egiazarian K, Nikolov Z, "Suppression of electromyogram interference on the electrocardiogram by transform domain denoising," *Medical and Biological Engineering and Computing*, Vol. 39, pp. 649-655, Nov. 2001.
15. Paul JS, Reddy MR, Kumar VJ, "A transform domain SVD filter for suppression of muscle noise artefacts in exercise ECG's," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. Vol. 47, pp. 654-663, May 2000.
16. Sayadi O, Shamsollahi MB, "ECG denoising and compression using a modified extended Kalman filter structure," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 55, pp. 2240-2248, Sept. 2008.

17. Sameni R, Shamsollahi MB, Jutten C, and Babaie-Zade M, "Filtering noisy ECG signals using the extended Kalman filter based on a modified dynamic ECG model," in Computers in Cardiology, 2005. IEEE, 2005.
18. Thakor NV, Zhu YS, "Applications of adaptive filtering to ECG analysis: noise cancellation and arrhythmia detection," IEEE transactions on biomedical engineering, Vol. 38, pp.785-794, Aug. 1991.
19. Lander P, Berbari EJ, "Time-frequency plane Wiener filtering of the high-resolution ECG: development and application," IEEE transactions on biomedical engineering, Vol. 44, pp.256-265, Apr. 1997.
20. Sameni R, Shamsollahi MB, Jutten C, Clifford GD, "A nonlinear Bayesian filtering framework for ECG denoising," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 54, pp. 2172-2185, Dec. 2007.
21. Andreotti F, Grasser F, Malberg H, Zaunseder S, "Non-Invasive Fetal ECG Signal Quality Assessment for Multichannel Heart Rate Estimation." IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2017.
22. Behar J, Oster J, Li Q, Clifford GD, "ECG signal quality during arrhythmia and its application to false alarm reduction." IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 60, pp. 1660-1666, 2013.
23. Abbaspour S, Fallah A, Lindén M, Gholamhosseini H, "A novel approach for removing ECG interferences from surface EMG signals using a combined ANFIS and wavelet", Journal of Electromyography and Kinesiology, Vol. 26, pp. 52-59, Feb 29 2016.

2.4. Очекивани научни doprinosи

Главни очекивани научни doprinosи ове дисертације ће бити нови алгоритам за транслационо инваријантну апроксимацију шума у ЕКГ сигнаlima. Коришћење ЕКГ сигнала са различитим аритмијама у циљу налажења најбољих аутоматских параметара за контролу овог алгоритма омогућава његово поуздано коришћење у различитим фазама обраде ЕКГ сигнала као што су издвајање обележја и класификација откуцаја. Стога ће у оквиру дисертације бити предложена примена овог алгоритма у оквиру нове методе за адаптивно отклањање шума из ЕКГ сигнала.

У циљу валидације предложеног алгоритма са актуелним режимима рада нових уређаја, дизајн уређаја за снимање ЕКГ сигнала у различитим режимима рада и различитим типовима електрода ће бити представљен.

Очекивани doprinosи ове дисертације су:

- Преглед, систематизација и анализа постојећих алгоритама за естимацију нивоа шума у ЕКГ сигнаlima.
- Нови алгоритам за транслационо инваријантну апроксимацију високофреквентног шума у ЕКГ сигнаlima.
- Коришћење ЕКГ сигнала са различитим аритмијама у циљу налажења најбољих аутоматских параметара за контролу предложеног алгоритма.
- Примена алгоритма за апроксимацију високофреквентног шума за адаптивну редукцију шума. Предложени алгоритам за адаптивну редукцију шума користи водећи референтни сигнал. То омогућава очување компоненти QRS комплекса у релативно чистим деловима сигнала, а у исто време филтрирање осталих делова сигнала у зависности од нивоа шума у сваком делу. То омогућава побољшање односа између потискивања QRS комплекса и побољшање квалитета сигнала.
- Примене новог алгоритма у различитим деловима процесирања ЕКГ сигнала.

2.5. План истраживања

Планирано је да се истраживање спроведе у шест фаза:

- Прва фаза обухвата анализу постојећих алгоритама за естимацију квалитета сигнала у присуству ЕМГ шума. Циљ ове фазе је да се систематизује постојеће знање у овој области и да се уоче предности и мане различитих приступа овом проблему. На основу закључака из ове фазе биће формулисани основни критеријуми које ново решење треба да испуни.
- Друга фаза подразумева дефинисање архитектуре новог алгорита за апроксимацију нивоа шума у ЕКГ сигнаlima. У оквиру ове фазе дефинисани су проблеми и циљеви за нови алгоритам који су постигнути коришћењем одговарајућих алата за процесирање сигнала. Крај друге фазе подразумева дефинисан први део алгоритама који даје ненормализовану апроксимацију шума.
- Трећа фаза обухвата анализу перформанси апроксимације шума добијене из првог дела алгорита различитим тест сигнаlima са различитим аритмијама у циљу налажења прагова статистичким методама. Циљ је да се систематизује постојеће знање у овој области и да се користе сигнали са различитим аритмијама за контролу овог алгорита чиме се омогућава његово коришћење без обзира на аритмије и повећава се његова поузданост. На крају ове фазе биће представљена два прага који се користе за нормализацију апроксимације добијене од првог дела алгорита. Цео алгоритам за апроксимацију шума ће бити комплетиран овом фазом.
- Четврта фаза је хардверска архитектура уређаја за снимање ЕКГ сигнала који ће се користити за снимање ЕКГ сигнала и за валидацију алгорита. Два режима рада су *short term recorder* са сувим електродама и *long term recording* са влажним електродама. Биће дефинисана процедура снимања сигнала која ће се користити за валидацију алгорита.
- Пета фаза представља евалуацију предложене методе за апроксимацију нивоа шума. Резултати ће бити представљени кроз различите метрике које ће се користити за валидацију перформансе референтног сигнала. Поређење са другим методама ће такође бити урађено у овој фази. У овој фази ће бити урађена анализа перформанси алгорита по питању меморије и рачунске комплексности.
- Шеста фаза ће се бавити анализом предложеног алгорита и тражења његових примена у системима за анализу ЕКГ сигнала. Циљ ове фазе је представљање различитих примена предложене методе. На крају ове фазе ће се представити нови алгоритам за филтрирање ЕКГ сигнала.
- Седма фаза подразумева имплементацију алгорита за филтрирање шума из ЕКГ сигнала користећи референтни сигнал као водећи сигнал у циљу контроле различитих филтера.

3. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу приложене документације, непосредног увида у научни рад и јавне усмене одбране теме кандидата Мохамеда Мароуфа, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија је закључила да кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације кандидата Мохамеда Мароуфа "Апроксимација и адаптивно смањење високофреквентног шума у ЕКГ сигнаlima", је у тренду са глобалним научним кретањима из области обраде биомедицинских сигнала и наменских рачунарских система, чији се резултати тренутно објављују у истакнутим међународним часописима. Предложена тема је посебно значајна и интересантна из угла практичне примене.

Кандидат Мохамед Мароуф се током свог научноистраживачког и образовног рада бавио темама које спадају у најужу област дисертације. Комисија сматра да континуитет досадашњег научноистраживачког рада као и релевантност пројеката на којима је кандидат био ангажован несумњиво указује на чињеницу да је кандидат подобан за реализацију предвиђених циљева истраживања.

Научна област дисертације је Електротехника и рачунарство, а ужа научна област је Електроника. За ментора дисертације предлаже се др Лазар Сарановац, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет. Теза ће бити написана на енглеском језику.

Имајући све претходно у виду, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Мохамеду Мароуфу одобри израду докторске дисертације под горе наведеним називом.

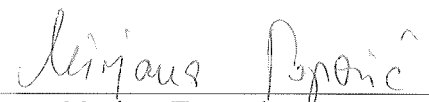
У Београду, 31.05.2017. године

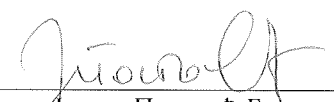
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


ментор, др Лазар Сарановац, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Милан Прокин, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Миодраг Поповић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Мирјана Поповић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Јелена Поповић-Божовић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет