

НАЗИВ ФАКУЛТЕТА: ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА НОВИ САД

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију: Решењем бр. 012-72/22-2014 од 28. 09. 2017. године, на основу предлога матичне катедре, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, декан факултета именовao је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. др Зоран Митровић, редовни професор, уже научна област Електрична мерења, метрологија и биомедицина, изабран у звање 11. 03. 2016. године, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>2. др Драган Раденковић, редовни професор, уже научна област Метрологија и мерна техника, изабран у звање 31. 03. 2008, Електронски факултет, Ниш</p> <p>3. др Дамир Лукач, редовни професор, уже научна област Физиологија, изабран у звање 01. 07. 2017, Медицински факултет, Нови Сад</p> <p>4. др Драган Пејић, доцент, уже научна област Електрична мерења, метрологија и биомедицина, изабран у звање 07. 10. 2016. године, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>5. др Платон Совиљ, ванредни професор, уже научна област Електрична мерења, метрологија и биомедицина, изабран у звање 13. 09. 2016. године, Факултет техничких наука, Нови Сад</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Јелена, Радосав, Ђорђевић-Козаров</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 5. март 1971, Ниш, Република Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: ---</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: ---</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Електронски факултет у Нишу, Удаљене метролошке лабораторије – дистрибуирани мерни систем заснован на клијент/сервер архитектури, Метрологија, 27. јун 2005.</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Метрологија</p>

III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Метода мерења електроокулографског сигнала на интервалу са преклапањем временских прозора

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Научни приказ истраживања за реализацију постављених циљева дисертације, кандидаткиња је презентовала на 210 страна. Дисертација садржи Увод, 9 поглавља, 75 слика, 74 графика, 33 табеле, 104 референце и 3 прилога.

Дисертација је организована на следећи начин:

Увод

1. Електрофизиолошки сигнали

1.1. Биоелектрични потенцијали

1.1.1. На ћелијском нивоу

1.1.2. На површини тела

1.2. Врсте електрофизиолошких сигнала

1.3. Мерење и записивање електрофизиолошких сигнала

2. Електроокулографија

2.1. Анатомија ока

2.2. Карактеристичне појаве код ЕОГ сигнала

2.3. Почеци и развој електроокулографије

2.4. Технички стандарди

2.5. Примена електроокулографије

3. Мерно-аквизициони системи у електроокулографији

3.1. Врсте и структура мерно-аквизиционих система у електроокулографији

3.2. Записивање у аналогним ЕОГ системима

3.3. Електроде

3.4. Појачавач

3.4.1. Основни захтеви појачавача - конфигурација

3.5. Галванска изолација

3.6. Напајање

3.7. Дигитализација ЕОГ сигнала

3.8. Рачунарска подршка за складиштење, презентацију и дигиталну обраду ЕОГ сигнала

3.9. Дигитални интерфејс

3.9.1. RS-232 интерфејс

3.9.2. USB (Universal Serial Bus) интерфејс

3. 10. Артефакти при мерењу ЕОГ сигнала

4. ВІОРАС систем као пример комерцијалног уређаја са функцијом мерења ЕОГ сигнала

4.1. ВІОРАС систем за студентска истраживања

4.2. Експериментално снимање ЕОГ сигнала помоћу ВІОРАС система

4.2.1. Калибрација

4.2.2. Реално праћење клатна у хоризонталној равни

4.2.3. Симулирано праћење клатна у хоризонталној равни

4.2.4. Реално праћење предмета у вертикалној равни

4.2.5. Симулирано праћење предмета у вертикалној равни

4.2.6. Снимање покрета очију при читању (у себи) једноставног текста

4.2.7. Снимање покрета очију при читању (у себи) компликованог текста

4.2.8. Снимање покрета очију при читању (наглас) компликованог текста

5. Дигитална стохастичка метода мерења сигнала

5.1. Дигитално стохастичко мерење стационарних сигнала

5.1.1. Временски непроменљиви и простопериодични сигнали

5.1.2. Зашумљени сложенопериодични сигнали

5.2. Дигитално стохастичко мерење нестационарних сигнала

6. Симулациони модел дигиталног стохастичког мерења ЕОГ сигнала

6.1. Мерење ЕОГ сигнала применом ДСМ методе

6.2. Развој нове методе мерења ЕОГ сигнала на интервалу са преклапањем временских прозора
7. Модуларна експериментална платформа
7.1. Микроконтролерски модул за дигитално стохастичко мерење
7.2. Рачунарски модул за управљање експерименталном платформом
8. Експериментална верификација симулационог модела
8.1. Резултати Матлаб симулација дигиталног стохастичког мерења ЕОГ сигнала
8.2. Резултати експерименталног дигиталног стохастичког мерења ЕОГ сигнала
9. Закључак
Литература
Прилози

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У уводу се наводе циљеви докторске дисертације, формулише хипотеза истраживања и приказана је организација текста тезе.

У првом поглављу описано је порекло биоелектричних сигнала и начин њиховог формирања. Дат је кратак опис различитих врста електрофизиолошких сигнала, а због сличности са електроокулографијом (ЕОГ) нагласак је стављен на електромиографију (ЕМГ), електрокардиографију (ЕКГ) и електроенцефалографију (ЕЕГ).

У другом поглављу приказана је анатомија ока и дат је кратак историјски развој електроокулографије. Описане су карактеристичне појаве код ЕОГ сигнала и описана је примена електроокулографије, како за потребе медицинске дијагностике, тако и у сврхе истраживања и управљања екстерним уређајима.

У трећем поглављу описани су аналогни и дигитални мерно-аквизициони системи у електроокулографији. У основи сваког су електроде и појачавач са филтерима, као и уређај за записивање аналогних сигнала код аналогних система, односно блок за дигитализацију и рачунар код дигиталних система. Структура и сложеност ових система варира.

У четвртом поглављу описан е *BIOPAC* систем, који представља пример комерцијалног уређаја са функцијом мерења ЕОГ сигнала. Овај систем садржи софтверску и хардверску подршку за аквизицију и анализу података из области наука о живим организмима. Описано је експериментално снимање ЕОГ сигнала помоћу *BIOPAC* система, при чему је вршено снимање покретања очију у хоризонталној и вертикалној равни, као и приликом читања задатог текста.

У петом поглављу описана је дигитална стохастичка метода (ДСМ) мерења сигнала. Показано је како је ДСМ метода погодна за мерење временски непроменљивих и простопериодичних сигнала, као и за мерење временски променљивих и сложенопериодичних сигнала, уз контролисано потискивање шума.

У шестом поглављу описан је симулациони модел дигиталног стохастичког мерења ЕОГ сигнала. С обзиром да су анализом резултата уочена знатна одступања репродукованог сигнала у односу на улазни сигнал, јавила се идеја модификације дигиталне стохастичке мерне методе. У поглављу је дат детаљан опис методе мерења ЕОГ сигнала на интервалу са преклапањем временских прозора и приказани су добијени резултати. У циљу реализације експерименталног дела, анализиран је и симулациони модел са смањеном фреквенцијом одмеравања.

У седмом поглављу описана је платформа за експериментална мерења коришћена у истраживању, која се састоји од микроконтролерског модула за стохастичко дигитално мерење и рачунарског модула за управљање експерименталном платформом. Овај мерно-аквизициони систем је коришћен за експерименталну метролошку верификацију симулационог модела описаног у претходном поглављу.

У осмом поглављу приказани су добијени симулациони и експериментални резултати дигиталног стохастичког мерења ЕОГ сигнала применом реализованог симулационог модела и пројектованог инструмента. У циљу експерименталне верификације реализованог симулационог модела за мерење ЕОГ сигнала модификованом ДСМ методом (МДСММ), пројектован је инструмент базиран на рачунарској платформи. Имплементирани систем у основи има микроконтролер који добија тест податке из рачунара, генерише аналогни тест сигнал и преузима измерене податке са А/Д конвертора и потом их шаље натраг рачунару. Овај систем комуницира преко серијског интерфејса, у реалном времену, са рачунаром који обавља дигитално стохастичко мерење. Због ограничења брзине поуздане серијске комуникације, пренос тест сигнала и обрада сигнала у реалном времену реализована је при фреквенцији одмеравања од 1 Hz.

У деветом поглављу, које представља закључак рада, сублимирани су резултати који су постигнути у дисертацији.

Попис литературе, по редоследу навођења, дат је након деветог поглавља (Закључка).

На самом крају докторске дисертације издвојени су прилози, да не би додатно оптерећивали поглавља рада.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Рад у часопису међународног значаја (M22):

1. J. R. Djordjevic-Kozarov, V. D. Pavlovic, "An Analytical Method for the Multiplierless 2D FIR Filter Functions and Hilbert Transform in z2 domain", *IEEE Transactions on Circuits and Systems- II:Express briefs*, Vol. 60, No. 8, pp. 527-531, 2013.

Рад у часопису међународног значаја (M23):

2. V. D. Pavlović, J. R. Djordjević-Kozarov, „Ultra Selective Spike Multiplierless Linear-phase 2D FIR Filter Function with Full Hilbert Transform Effect”, *IET Circuits, Devices & Systems*, Vol. 8, Issue 6, pp. 532 - 542, 2014.

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24):

3. Jelena R. Djordjević-Kozarov, Vlastimir D. Pavlović, "A novel analytical method for the selective multiplierless linear-phase 2D FIR filter function", *FACTA UNIVERSITATIS, Series: Electronics and Energetics*, vol. 29, no. 4, pp. 689 - 700, ISSN 0353-3670, 2016.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):

4. Djordjević-Kozarov J, Sovilj P, Vujičić V, Mitić D, Simić M, Radenković D. (2017) Experimental Verification of EOG Signal Measurement Using the Modified Digital Stochastic Measurement Method. In: Badnjevic A. (eds) CMБЕБИH 2017. IFMBE Proceedings, vol 62, pp.129-134, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.

5. Jelena Đorđević-Kozarov, Platon Sovilj, Vladimir Vujičić, Dejan Mitić, Dragan Radenković, „Addition to the Experimental Solution Development for the Stochastic Measurement of EOG signals“, *Proceedings of the International Conference IcETRAN 2017*, CD, pp. MLI2.1.1-4, Kladovo, Serbia, 2017.

6. Jelena Đorđević-Kozarov, Platon Sovilj, Vladimir Vujičić, Dejan Mitić, Dragan Radenković, „A Novel Method for Gibbs Phenomenon Reduction in Stochastic Measurement of EOG Signal”, *Proceedings of the International Conference IcETRAN 2016*, CD, pp. MLI1.4.1-4, Zlatibor, Serbia, 2016.

7. Jelena R. Djordjević-Kozarov, Dejan Z. Mitić, Vladimir Vujičić, Platon Sovilj, “Digital Stochastic Measurement of Noised Biomedical Signals: Simulation versus Experiment”, *Proceedings of the 12th International Conference TELSIKS 2015, ECIT.5*, pp. 338-341, Niš, Serbia, 2015.

8. Jelena Đorđević-Kozarov, Dejan Mitić, Vladimir Vujičić, Dragan Radenković, Platon Sovilj, “An experimental hardware solution for digital stochastic measurement of biomedical signals”, *Proceedings of the International Conference PES 2015*, CD, pp. P1_18, Niš, Serbia, 2015.

9. Jelena Đorđević-Kozarov, Platon Sovilj, Dejan Mitić, Vladimir Vujičić, Dragan Radenković, „A concept of an experimental solution for Digital Stochastic Measurement of EOG signal”, *Proceedings of the International Conference IcETRAN 2015*, CD, pp. MLI1.3.1-4, Silver Lake, Serbia, 2015.

10. Jelena Djordjević-Kozarov, D. Z. Mitic, V. Vujicic, P. Sovilj, D. Radenkovic, "Digital Stochastic Measurement of EOG Signal with Various ADC Sampling Frequencies: a Comparative Review", *Proceedings of the International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements SAUM 2014*, 2014, Niš, Serbia.

11. Jelena Djordjević-Kozarov, Platon Sovilj, Dejan Mitic, Vladimir Vujicic, Dragan Radenkovic, “Model Development for Digital Stochastic Measurement of Noised EOG Signals”, *Proceedings of the International Scientific Conference ICEST 2014*, Vol. 2, pp. 417-420, 2014, Niš, Serbia.

Саопштење са националног скупа штампано у целини (M63):

12. Jelena Đorđević-Kozarov, Dejan Mitić, Platon Sovilj, Vladimir Vujičić, Dragan Radenković, "Razvoj modela za stohastičko digitalno merenje EOG signala", *Konferencija za ETRAN 2014*, Zbornik radova (CD), Vrnjačka Banja, Srbija

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Циљеви докторске дисертације који су наведени су постигнути. Реализација идеје прецизног мерења ЕОГ сигнала, уз предложену модификацију дигиталне стохастичке методе мерења, изведена је етапно по фазама које обухватају:

1. Формирање одговарајућег симулационог модела дигиталног мерења ЕОГ сигнала заснованог на ДСМ методи. Утврђено је да се, применом ДСМ методе, појављују одступања на почетку и на крају сваког мерног интервала. Та одступања представљају последицу појаве Гибсовог феномена, који значајно повећава грешке мерења.

2. Развој модификоване дигиталне стохастичке мерне методе (МДСММ), у циљу смањења утицаја Гибсовог феномена на грешку мерења. Модификација се огледа у томе да се постигне преклапање мерних интервала (временских прозора) T_k . У ту сврху, имплементиран је идентичан мерни канал који мери исти ЕОГ сигнал, али код кога узорковање почиње са унапред дефинисаним кашњењем dT . Као коначан резултат добија се резултујући сигнал тако што се из сваког мерног канала узимају само узорци из области где нема појаве Гибсовог феномена.

3. Формирање одговарајућег симулационог модела дигиталног стохастичког мерења ЕОГ сигнала, на основу предложене методе. Фреквенција узорковања је 250 kHz. Овај модел је метролошки верификован путем већег броја Матлаб симулација.

4. Пројектовање инструмента базираног на рачунарској платформи за експерименталну верификацију симулационог модела за мерење ЕОГ сигнала МДСМ методом. Имплементирани систем у основи има микроконтролер који добија тест податке из рачунара, генерише аналогни тест сигнал и преузима измерене податке са А/Д конвертора и шаље их натраг рачунару.

5. Реализовање рачунарске апликације за управљање експерименталном платформом, која генерише све параметре реализованог уређаја, односно обезбеђује припрему и извођење експеримента и анализу добијених резултата. Овај систем комуницира преко серијског интерфејса, у реалном времену, са рачунаром који обавља МДСМ мерење.

6. Реализовање симулационог модела са фреквенцијом узорковања 1 kHz. Због ограничене брзине поуздане серијске комуникације, пренос тест сигнала и обрада сигнала у реалном времену могу бити могући само ако фреквенција узорковања не прелази 1 kHz. Када је фреквенција узорковања виша, поред немогућности преноса тест сигнала серијским интерфејсом, потребан је и велики број израчунавања и велики меморијски простор за базисне функције и израчунате Фуријеове коефицијенте. Модел је метролошки верификован већим бројем Матлаб симулација.

7. Реализовање експерименталног хардверског решења, односно инструмента базираног на рачунарској платформи, са смањеном фреквенцијом узорковања. Реализованим инструментом извршено је дигитално мерење ЕОГ сигнала засновано на МДСМ методи. Показано је да предложено решење за мерење ЕОГ сигнала МДСМ методом даје боље резултате, у погледу добијених грешака мерења, од класичног дигиталног мерења, а посебно у случајевима присуства шума високог нивоа, чиме се потврђује оправданост примене ове методе. С обзиром да модел МДСМ мерења ЕОГ сигнала не захтева употребу *anti-aliasing* (аналогних ниско-фреквентних) филтера, дизајн појачавачког блока се поједностављује и смањује се потреба ослањања на поузданост аналогних електронских кола.

Имајући у виду ове резултате, предложени приступ може да се користи за пројектовање и реализацију инструмента са довољном тачношћу, користећи једноставан хардвер.

На овај начин се у дисертацији показује да се предложени дигитални стохастички мерни систем, који примењује МДСМ методу, може применити у прецизним мерењима ЕОГ сигнала, како за потребе медицинске дијагностике тако и у сврхе истраживања, као што су области управљања екстерним уређајима (виртуелне тастатуре, електрична инвалидска колица, вештачке руке и роботи).

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Резултати мерења су јасно и прецизно наведени у дисертацији приказом табела са добијеним вредностима грешака мерења, као и приказом графова генерисаних сигнала, у циљу визуелне

<p>потврде текстуално наведених описа резултата мерења. На тај начин је омогућена објективна анализа грешака мерења кроз компарацију референтних и измерених вредности амплитуде сигнала. Посебан значај овој дисертацији дају резултати мерења засновани на примени МДСМ методе. Тумачење добијених резултата је јасно и прегледно. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим резултатима мерења, добијеним из сопствених експерименталних истраживања. Резултати су приказани исцрпно и прегледно, уз навођење претходних истраживачких резултата из ове области.</p>
<p>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p>
<p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме? Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.</p>
<p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе? Дисертација садржи све битне елементе за разумевање проблема и предложеног решења за мерење ЕОГ сигнала.</p>
<p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци? У дисертацији је предложено решење дигиталног стохастичког мерног инструмента, који примењује методу мерења ЕОГ сигнала на интервалу са преклапањем временских прозора. Предложено решење има могућност практичне примене за прецизна мерења ЕОГ сигнала са смањеном грешком мерења у поређењу са стандардном методом мерења, а да се при том користи знатно једноставнији хардвер који омогућује развој уређаја са већим нивоом минијатуризације и нижом потрошњом, што представља оригинални вид побољшања постојећих поступака мерења ЕОГ сигнала.</p>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања. Дисертација нема недостатака који утичу на резултат истраживања.</p>
<p>X ПРЕДЛОГ:</p>
<p>На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:</p>
<p>Да се докторска дисертација прихвати, а кандидаткињи одобри одбрана.</p>

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

У Новом Саду, 23. 10. 2017. године

др Зоран Митровић, редовни професор, председник

др Драган Раденковић, редовни професор, члан

др Дамир Лукач, редовни професор, члан

др Драган Пејић, доцент, члан

др Платон Совиљ, ванредни професор, члан