

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Андреја Савића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства.

Одлуком Научно-наставног већа Електротехничког факултета бр. 5005/10-3 од 14.07.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Андреја Савића под насловом

"Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији"

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Андреј Савић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства је уписао докторске студије Универзитета у Београду - Електротехнички факултет на модулу Управљање системима и обрада сигнала у јануару 2011. године.

13.1.2014. године пријавио је тему под насловом "Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији" за израду докторске дисертације.

15.1.2014. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу Универзитета у Београду-Електротехничког факултета на усвајање.

21.1.2014. године Наставно-научно веће одлуком која је донета на седници бр. 770 именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Мирјана Б. Поповић, редовни професор на Универзитету у Београду-Електротехнички факултет, др Дејан Б. Поповић, дописни члан САНУ, редовни професор на Универзитету у Београду-Електротехнички факултет, др Љубица Константиновић, ванредни професор на Универзитету у Београду-Медицински факултет.

25.2.2014. године Наставно-научно веће одлуком која је донета на седници бр. 771, усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

31.3.2014. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом: "Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији" (број одлуке 61206-1450/2-14 од 31.3.2014. године) и за ментора је одређена Проф. др Мирјана Б. Поповић, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет.

8.7.2014. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета одлуком која је донета на седници бр. 776, именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Мирјана Б. Поповић, редовни професор на Универзитету у Београду-Електротехнички факултет, др Дејан Б. Поповић, дописни члан САНУ, редовни професор на Универзитету у Београду-Електротехнички факултет, др Љубица Константиновић, ванредни професор на Универзитету у Београду-Медицински факултет, др. Жељко Ђуровић, редовни професор на Универзитету у Београду-Електротехнички факултет, др. Бранко Ковачевић, редовни професор на Универзитету у Београду-Електротехнички факултет (број одлуке 5005/10-3 од 14.7.2014. године).

1.2. Научна област дисертације

Дисертација Андреја Савића припада научној области Техничке науке - Електротехника, ужа научна област Биомедицинско инжењерство. За ментора дисертације одређена је професор др Мирјана Б. Поповић, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет, због истакнутих доприноса у области биомедицинског инжењерства, са применама у домену неурорехабилитације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Андреј Савић је рођен 13. јуна 1982. године у Београду. Основну школу „Краљ Петар први“ и „Прву Београдску гимназију“ (природно-математички смер) завршио је са одличним успехом. Електротехнички факултет, Универзитета у Београду уписао је 2001. године и дипломирао на смеру Биомедицински и еколошки инжењеринг, одсека за Физичку електронику са просечном оценом 8,34. Дипломски рад „Основни принципи детекције гама зрачења кристалним сцинтилационим детекторима“ одбранио је са оценом 10 код проф. Предрага Осмоковића 2008. године. Дипломске академске-мастер студије на модулу Биомедицински и еколошки инжењеринг уписао је 2008. године и са просечном оценом 10 завршио 2010. године. Мастер рад, урађен у оквиру FP7-ICT пројекта # 224051: „TREMOR” (An ambulatory BCI-driven tremor suppression system based on functional electrical stimulation), под називом „Интелигентна детекција тремора из вољног покрета“ под менторством Проф. др Мирјане Б. Поповић одбранио је са оценом 10. Докторске студије на модулу Управљање системима и обрада сигнала уписао је 2011. године. Положио је све испите са просеком 10.

Андреј Савић од јануара 2011. године ради на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, у оквиру Лабораторије за Биомедицинску Инструментацију и Технологије (БМИТ) као истраживач сарадник на националном пројекту "Ефекти асистивних система у неурорехабилитацији: опоравак сензорно-моторних функција", #175016, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Србије, 2011-2014 под руководством Проф. Мирјане Поповић. Од марта 2011. године, Андреј Савић је ангажован и на истраживачким пројектима у оквиру предузећа Tescalia Serbia DOO у Београду.

Кандидат је током мастер и докторских студија освојио 3 награде и добио 4 стипендије за усавршавање у иностранству:

- Награда за најбољи рад из области Биомедицинска техника под називом „Детекција фаза током дисања“ на конференцији „ЕТРАН 2009“
- Награда фондације Теленор „Професор др Илија Стојановић“ за један од три најбоља студентска рада на конференцији „Телфор 2010“ под насловом “*Comparison of the event-related desynchronization during self-paced movement and when playing a Nintendo Wii game*”
- "Travel Award" новчана награда (1200 USD), BMBI (Brain Machine Body Interface) workshop travel award by IEEE EMB Conference, Сан Диего, Калифорнија, САД, 27. Авг 2012. године, за интерактивну демонстрацију лабораторијског прототипа мозак-рачунар интерфејс (МoPI) система развијеног у току истраживачког рада у оквиру БМИТ групе

- Стипендија TEMPUS пројекта за тридесетодневну посету Факултету за електротехнику, рачунарство и информатику - ФЕРИ, и рад и усавршавање у Лабораторији за системску програмску опрему у Марибору, Словенија (новембар - децембар 2011). Менторство и супервизија: *prof. Damjan Zazula, prof. Aleš Holobar*
- Стипендија COST програма (*Short Term Scientific Mission - STSM, COST Action TD1006, STSM title: Advanced EEG techniques to utilize brains automatic change detection in BCI*) за посету Универзитету у Јуваскули, Финска (4.- 15. Сеп 2012). Менторство и супервизија: *prof. Ina Tarkka*
- Стипендија COST програма (*Short Term Scientific Mission - STSM, COST Action TD1006, STSM title: Control strategies for EEG BCI device based on motor imagery*) за посету Универзитету у Алборгу, Данска (11. – 31. Мај 2013). Менторство и супервизија: *prof. Natalie Mrachacz Kersting*
- Стипендија програма: "*Effects of physical activity on brain ageing*" (Juho Vainio Foundation, Helsinki, Finland) за двадесетодневну посету Универзитету у Јуваскули, Финска (јануар 2014). Менторство и супервизија: *prof. Ina Tarkka*.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација "Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији" (енгл. „*Electroencephalographic control signals of Brain-Computer Interface in neurorehabilitation*“) написана је на 131 стране, организована је у 10 поглавља, има 2 прилога, 58 слика и 155 референци. Текст дисертације написан је на енглеском језику. Називи поглавља су: 1. Увод у мозак-рачунар интерфејс (МоРИ), (енгл. *Introduction to Brain Computer Interface*); 2. Софтверска апликација за ЕЕГ аквизицију, МоРИ и неурофидбек (енгл. *Software application for EEG acquisition, BCI and neurofeedback*); 3. Индуковање и визуелизација стационарних евоцираних потенцијала (енгл. *Steady-state visual evoked potentials (SSVEP) induction and visualization*); 4. Индуковање, квантификација и визуелизација десинхронизације/синхронизације везане за догађај реалним и замишљеним покретима (енгл. *Event related desynchronizations/synchronization (ERD/ERS) induction with real and imaginary movements and its quantification and visualization*); 5. Индуковање, обрада и визуелизација евоцираних кортикалних потенцијала (енгл. *Event related potential (ERP) elicitation, processing and visualization*); 6. Мерење и обрада вишеканалних спорих кортикалних потенцијала везаних за покрет и синхронизације/десинхронизације везане за догађај током самоиницираних и спољном сигнализацијом диригованих покрета (енгл. *Movement related cortical potentials (MRCPs) and event related desynchronization/synchronization (ERD/ERS) multichannel recording and processing during self initiated and cued movements*); 7. МоРИ систем I: Хибридни МоРИ за унапређену функционалну електричну терапију (енгл. *BCI system I: Hybrid BCI for advanced functional electrical therapy*); 8. МоРИ систем II: МоРИ управљан замишљеним покретима са спољадиригованим избором хватова идукованих функционалном електричном стимулацијом (ФЕС). (енгл. *BCI system II: Motor imagery driven BCI with cue-based selection of FES induced grasps*); 9. МоРИ систем III: Асинхрони "моздани прекидач" за контролу ФЕС (енгл. *BCI system III: Asynchronous "brain-switch" for FES control*); 10. Дискусија, закључци и будући рад (енгл. *Discussion, conclusions and future work*); 11. Додатак (енгл. *Appendix*)

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод у мозак-рачунар интерфејс (МоРИ) системе дат је у поглављу I. Приказани су кратак историјат, области примене, класификација МоРИ система на основу различитих критеријума, основне информације о најважнијим управљачким модалитетима који се користе у њиховој реализацији и описи постојећих система базираних на сваком од модалитета.

Поглавље 2 описује софтверску апликацију за аквизицију електроенцефалографских - ЕЕГ (и/или других електрофизиолошких сигнала), онлајн (енгл. *online*) обраду и биофидбек, развијен за потребе рада на дисертацији. Студија изводљивости на примеру примене развијеног софтвера за неурофидбек сензо-моторних ритмова код деце описана је на крају овог поглавља.

Поглавља 3, 4, 5 и 6 описују методологију мерења, обраде и визуелизације четири електроенцефалографска управљачка сигнала најчешће коришћена за реализацију мозак-рачунар интерфејс система, и то су: стационарни евоцирани потенцијали, десинхронизација/синхронизација везана за догађај, евоцирани кортикални потенцијали и спори кортикални потенцијали везани за покрет. Сви резултати представљени у овим поглављима су засновани на оригиналним истраживачким мерењима и студијама реализованих за потребе тезе у Лабораторији за биомедицинску инструментацију и технологије (БМИТ), Универзитета у Београду - Електротехничког факултета (поглавља 3, 4 и 5) као и на Универзитету у Алборгу, Данска (*Center for Sensory-Motor Interaction, Department of Health Science and Technology, Aalborg University, 9220 Aalborg Ø, Denmark*), у поглављу 6. Инструментација и методологија за изазивање и мерење стационарних визуелни евоцирани потенцијала као и методе обраде и њихове визуелизације обрађени су у поглављу 3. Инструментација и методологија за мерење, обраду и квантификацију десинхронизације/синхронизације везане за догађај током извршења покрета и замишљања покрета приказани су у поглављу 4. Инструментација и методологија за евоцирање, обраду и визуелизацију кортикалних евоцираних потенцијала, са посебним освртом на Н400 компоненту ових сигнала обрађени су у поглављу 5. Методе за симултано мерење две компоненте ЕЕГ сигнала које прате извршење моторних радњи: спорих кортикалних потенцијала и сензо-моторне десинхронизације/синхронизације коришћењем вишеканалног ЕЕГ-а објашњене су у поглављу 6. Испитани ефекти увођења визуелне сигнализације током извршења задатка на просторне карактеристика обе компоненте приказани су у оквиру овог поглавља.

Поглавља 7, 8 и 9 описују развијене у оквиру ове дисертације, мозак рачунар интерфејс (МоРИ) системе за управљање функционалном електричном стимулацијом (ФЕС) мишића у неурорехабилитацији. Прва верзија развијеног ресторативног МоРИ прототипа за контролу ФЕС-а замишљањем покрета шаке описана је у поглављу 7 у оквиру студије изводљивости примене хибридног МоРИ система за унапређење функционалне електричне терапије (ФЕТ). Овај систем ради у затвореној петљи, а његова хибридна архитектура обухвата два управљачка сигнала: 1) стационарне евоциране потенцијале и 2) десинхронизацију/синхронизацију ЕЕГ сигнала везане за догађај за аутоматизовано секвенцијално извршење два процеса (избор стимулационе шеме за један од три основна типа хвата и покретање електричне стимулације замишљањем одабраног покрета). У поглављу 8, описан је принцип рада и резултати тестирања друге верзије развијеног МоРИ система за контролу ФЕС-а. Овај прототип потенцијално ресторативног система за контролу ФЕС-а ради у синхронном моду и обухвата избор и покретање стимулационе шеме засноване на визуелној сигнализацији. У поглављу 9, описан је принцип рада и резултати тестирања треће верзије ресторативног асинхроног МоРИ прототипа за управљање ФЕС-ом. Потенцијал асинхроног "можданог прекидача" за активирање ФЕС-а у индуковању пластичности кортикоспиналног тракта процењен је применом клиничке технике транскранијалне магнетне стимулације (ТМС).

У поглављу 10 дискутовани су добијени резултати, сумирани су доприноси тезе и наведене могућности за будућа истраживања која произилазе из резултата описаних научно-истраживачких студија.

Систем за ЕЕГ мерења коришћен у студијама спроведеним у БМИТ лабораторији Универзитета у Београду, Електротехничког факултета и фото-сензора развијеног за синхронизацију ЕЕГ-а са визуелним стимулусима су описани у Додацима А и Б, респективно.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема докторске дисертације је у домену истраживања нових метода за неурорехабилитацију особа са сензорномоторним дефицитом применом електротроенцефалографских мерења за успостављање директног интерфејса између мозга и рачунара (мозак-рачунар интерфејс - МоРИ). На овај начин може се тренирати изгубљена/оштећена функција без физичког покрета, применом менталних стратегија. Ова тема је последњих година врло актуелна и представља нови правац у области ресторативних система за неурорехабилитацију. У оквиру овог истраживања развијене су нове методе за унапређење рехабилитационог поступка функционалне електричне терапије које се базирају на мозак-рачунар интеракцији. Основни допринос дисертације је доказ изводљивости коришћења различитих ЕЕГ модалитета за контролу ФЕС и неурофидбек.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе у докторској тези садржи 155 референци од значаја у научној области дисертације. Референце обухватају значајне базичне радове из области као и најновије релевантне публикације које дају преглед стања у области и указују на актуелност и оригиналност кандидатових резултата. Литература садржи и 8 публикација на којима је Андреј Савић аутор/коаутор, а који су директно проистекле из рада на дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру дисертације укључује:

- Проучавање теоријских основа мозак-рачунар интерфејс (МоРИ) система.
- Проучавање постојећих МоРИ система са применом у неурорехабилитацији.
- Проучавање метода мерења ЕЕГ-а и метода индукције визуелних и моторних евоцираних потенцијала.
- Проучавање метода обраде и анализе ЕЕГ сигнала и евоцираних потенцијала.
- Проучавање метода функционалне електричне стимулације (ФЕС) мишића, као и постојећих метода управљања ФЕС-ом.
- Дизајн хардверског дела система за ЕЕГ мерења (обухвата формирање мерног система који се састоји од комерцијалног ЕЕГ појачавача, аналогно/дигиталног конвертора, сета сензора за ЕЕГ мерења и лаптоп рачунара, дизајн уређаја за хардверску синхронизацију ЕЕГ сигнала и спољних стимулуса као и дизајн хардверских компоненти за презентацију репетитивних светлосних стимулуса).
- Развој нових стратегије управљања ФЕС-ом применом ЕЕГ сигнала.
- Дизајн софтвера за аквизицију и обраду ЕЕГ-сигнала у реалном времену и графичког корисничког интерфејса ове апликације.
- Развој софтвера за офлајн обраду меморисаних сигнала и анализу резултата.
- Тестирање развијених система на здравим испитаницима.

Примењена методологија у потпуности одговара светским стандардима научно-истраживачког рада. Наведени поступци су у сагласности са постављеним циљевима дисертације и укључују теоријски и експериментални рад.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у оквиру докторске дисертације могу имати директну клиничку примену у неурорехабилитацији горњих екстремитета, првенствено особа које су преживеле мождани удар. У оквиру тезе су развијена и описана три прототипа МоРИ система за управљање функционалном електричном стимулацијом намењени ресторацији функције хвата. Системи су тестирани на здравим испитаницима, а резултати најновијих светских

клиничких студија, наведени у оквиру тезе, говоре у прилог томе да су развијене методе применљиве и потенцијално корисне за третман моторних оштећења као последице можданог удара. Принципи и методе развијених и тестираних прототипова су конкурентни најсавременијим клиничким МоРИ системима.

Развијена софтверска апликација у *LabView (National Instruments)* софтверском пакету са интуитивним графичким корисничким интерфејсом омогућава једноставну обуку клиничара за коришћење развијених система.

Универзалност софтвера за ЕЕГ аквизицију и обраду омогућава његову примену у третману других стања/поремећаја применом методе неурофидбека. Такође, развијени софтвер/хардвер могу се применити и за аквизицију евоцираних потенцијала који имају широку примену у клиничкој неурологији, когнитивним неуронаукама и сл..

База података прикупљених током рада на докторској дисертацији садржи ЕЕГ сигнале (снимљене у различитим експерименталним парадигмама) на преко 100 здравих испитаника која се може користити за даља истраживања и/или едукацију.

Развијени софтвер у *Matlab*-у за накнадну (офлајн) обраду, анализу и визуелизацију образаца ЕЕГ сигнала, специфично, стационарних евоцираних потенцијала, синхронизације/десинхронизације везане за догађај и спорих и евоцираних кортикалних потенцијала представља платформу за даља истраживања и развој нових метода/алгоритама за обраду/анализу ЕЕГ сигнала.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат се кроз рад на докторској дисертацији успешно развио у самосталног истраживача. Значајно теоријско и практично искуство кандидат је стекао у свим фазама које подразумева научно истраживачки рад: праћењу и проучавању адекватне литературе, дизајну експерименталних протокола, извођењу експеримената, обради и анализи резултата мерења и дискусији добијених резултата кроз писање извештаја и научних публикација. Кроз бројна усавршавања (Словенија, Финска, Данска) као и националне и интернационалне сарадње (Финска, Данска, Енглеска, Немачка, Шпанија) у областима мерења, обраде и анализе електроенцефалографских сигнала, кандидат је усавршио своја техничка знања и данас је успешно интегрисан у рад са истраживачима у Европи. Континуалним бављењем електроенцефалографским сигнаlima за управљање МоРИ системима (од рада на мастер тези у оквиру европског пројекта, 2010) кандидат је стекао вештине рада са најсавременијом ЕЕГ опремом (хардвер/софтвер) као и развоја иновативних метода за примену ових система у неурорехабилитацији.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси приказани у оквиру тезе су:

1. Доказ изводљивости коришћења две ЕЕГ компоненте (стационарних визуелних евоцираних потенцијала и десинхронизације везане за догађај) као управљачких сигнала рачунарског интерфејса за контролу функционалне електричне стимулације (ФЕС).
2. Развој и тестирање нових хибридних рачунарских интерфејс система за управљање функционалном електричном стимулацијом замишљањем покрета шаке применом ЕЕГ мерења: хибридни МоРИ-ФЕС системи. Предности оваквих система у односу на конвенционално управљање су интуитивна, аутоматизована контрола процеса бирања различитих стимулационих образаца за потребе ресторације хвата као и аутоматизовано покретање стимулације искључиво детектовањем корисникове намере покрета шаке.

3. Развој и тестирање ресторативног система за контролу ФЕС-а замишљеним покретима руке са управљањем у синхронном моду на бази визуелне сигнализације.
4. Развој и тестирање асинхроног „*можданог прекидача*“ за контролу ФЕС замишљеним покретима шаке и тестирање изводљивости индуковања неуропластичитета применом овог система.
5. Развој и тестирање софтверске апликације за МоРИ и неурофидбек
6. Развој и тестирање платформе за аквизицију, обраду и визуелизацију евоцираних кортикалних потенцијала.

Развојем наведених мозак-рачунар интерфејс система (ставке 2-4) унапређен је концепт управљања рехабилитационим системом за електричну стимулацију мишића. Резултати тестова система на здравим испитаницима дали су референтне податке за планирање клиничке студије.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у постављене хипотезе докторске дисертације, циљеве истраживања и добијене резултате, констатујемо да је кандидат успешно одговорио на питања која су од значаја за унапређење ресторативних система на бази функционалне електричне стимулације у неурорехабилитацији. Развијена методологија и уређаји, као и добијени експериментални резултати имају значајан научни и стручни допринос у области биомедицинског инжењерства која се бави интерфејсом између мозга и рачунара базираним на електроенцефалографским сигнаlima. Увидом у публиковане радове и резултате докторске дисертације, констатујемо да су у докторској дисертацији приказани нови, савремени и оригинални резултати.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је аутор/коаутор на 28 научних публикација из уже научне области докторске дисертације. Од уписа на докторске студије, као резултат истраживачког рада у наведеној области произашле су 24 публикације и од тога: један рад у међународном часопису категорије М21, два рада у часописима категорије М23, четири апстракта у међународним часописима категорије М23, два рада у тематским зборницима од водећег међународног значаја (категирија М13), два рада у националним часописима категорије М53, четири рада у целини објављена у зборницима међународних конференција (категирија М33), пет радова у изводу објављених у зборницима међународних конференција (категирија М34) и четири публикације у зборницима националних конференција (категирије М63 и М64).

Листа радова:

Категорија М21:

1. **Savić A.**, Malešević N., Popović M.B.: Feasibility of a Hybrid Brain-Computer Interface for Advanced Functional Electrical Therapy, - *The Scientific World Journal*, Vol 2014, No 797128, pp. 1-11, 2014 (**IF(2012)=1.73**) (DOI:10.1155/2014/797128) (ISSN: 1537-744X).

Категорија М23:

1. Mirković B., Stevanović M., **Savić A.**: EEG Controlled Ni Lego Robot: Feasibility Study of Sensorimotor Alpha Rhythm Neurofeedback in Children, - *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik*, Vol 58, No 1, pp. 1-2, 2013 (**IF(2012)=1,157**) (ISSN (Online) 1862-278X, ISSN (Print) 0013-5585) (DOI: 10.1515/bmt-2013-4161).
2. Popović-Maneski L., Malešević N., **Savić A.**, Keller T., Popović D.B.: Surface distributed low-frequency asynchronous stimulation (sDLFAS) delays fatigue of stimulated muscles, - *Muscle & Nerve*, Vol 48, No 6, pp. 930–937, 2013 (**IF(2012)=2,314**) (DOI: 10.1002/mus.23840) ISSN: 1097-4598).

Kategorija M13:

1. **Savić, A.**, Lontis, R., Jiang, N., Popović, M., Farina, D., Dremstrup, K., & Mrachacz-Kersting, N.: „Movement Related Cortical Potentials and Sensory Motor Rhythms during Self Initiated and Cued Movements“ In *Replace, Repair, Restore, Relieve—Bridging Clinical and Engineering Solutions in Neurorehabilitation*, Eds.: W. Jensen, O. Kæseler Andersen, M. Akay, 2014, Volume 7, pp. 701-707. Springer International Publishing 2014 (ISBN: 978-3-319-08071-0 (Print) 978-3-319-08072-7 (Online), Series ISSN2195-3562) (DOI: 10.1007/978-3-319-08072-7_98) http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-08072-7_98
2. **Savić A.**, Malešević N., Popović M.B.: „Motor imagery driven BCI with cue-based selection of FES induced grasps“ In: *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*, Eds.: J. L. Pons, D. Torricelli, M. Pajaro, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, Vol. 1, pp. 513.-516. (DOI: 10.1007/978-3-642-34546-3_82) (ISBN (print): 978-3-642-34545-6, ISBN (electronic): 978-3-642-34546-3, Series ISSN: 2195-3562) http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-34546-3_82

Kategorija M33:

1. **Savić, A.**, Kisić U., Popović M.B.: „Toward a hybrid BCI for grasp rehabilitation,“ -*Proceedings of the 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*, 2012, Vol 37, pp. 806-809, Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg, (ISSN: 1680-0737, ISBN (Online) 978-3-642-23508-5, ISBN (Print) 978-3-642-23508-8, DOI:10.1007/978-3-642-23508-5_210)
2. **Savić A.**, Niazi, I.K., Popović M.B.: „Self-paced vs. cue-based motor task: the difference in cortical activity,“ - *Proceedings of the 19th Telecommunications Forum, TELFOR 2011*, 22-24 November 2011, Belgrade, Serbia. IEEE Press, Article No. 6143887, pp. 39-42 (ISBN: 978-1-4577-1499-3, <http://dx.doi.org/10.1109/TELFOR.2011.6143887>)
3. Šobajić N., **Savić A.**: „Comparison of the event-related desynchronization during self-paced movement and when playing a Nintendo Wii game,“ -*Proceedings of the 18th Telecommunication forum – TELFOR 2010*, 23-25 November 2010, Belgrade, Serbia, pp. 1379 -1382
4. **Savić A.**, Lontis R., Malešević N., Popović M.B., Jiang N., Dremstrup K., Farina D. and Mrachacz-Kersting N.: „Feasibility of an Asynchronous Event Related Desynchronization based Brain Switch for control of Functional Electrical Stimulation,“ Accepted for BMT 2014, Hannover 8-10 Oct. 2014.

Kategorija M34:

1. Tarkka, I., **Savić A.**, Niskanen E., Pekkola E., Rottensteiner M., Leskinen T., Kaprio J., and Kujala U.: „Long-term physical activity is associated with precognitive somatosensory brain processing and white matter volume in male twins,“ -*Proceedings of the 30th International Congress of Clinical Neurophysiology (ICCN) of the IFCN*, March 20–23, 2014, Berlin, Germany, pp. 264-265 (Printed in: *Clinical Neurophysiology*, vol 125, supplement 1, pp. S264-S265, 2014, (ISSN: 1388-2457, DOI: 10.1016/S1388-2457(14)50864-4))
2. Popović M.B., **Savić A.**: „Brain control of assistive devices,“ -*Proceedings of the 10th Mediterranean Congress of PRM and 13th National Congress of PMR, Mediterranean Forum of PRM 2013*, Budva, MonteNegro, 2013, pp. 56
3. Ilić O., Ković V. **Savić A.**, Thierry G.: „Conceptual organization revisited: Behavioural and ERP evidence,“ - *Proceedings of the 18th Meeting of the European Society for Cognitive Psychology (ESCoP) Conference*, Budapest, Hungary 2013, No A-0596. pp. 1
4. Sucević J., Ković V., **Savić A.**: „Is there anything sound-symbolic in words: Behavioural and ERP study of sound symbolism in natural language,“ -*Proceedings of the 18th Conference of the European Society for Cognitive Psychology*, Budapest, Hungary, 2013, No A-0682, pp. 1
5. **Savić A.**, Malešević N., Popović M.B.: „Cue-based control of three FES induced movements by motor imagery driven BCI,“ -*Proceedings of the IEEE EMB/CAS/SMC Workshop on Brain-Machine-Body Interfaces*, San Diego, California, USA, 2012., pp. D-3.

6. **Savić A.**, Malešević N., Popović M.B.: „Motor Imagery based BCI for control of FES,“ -*Proceedings of the Symposium of clinical neurophysiology with international participation*, Belgrade, Serbia, 2012, pp. 26-27
(Printed in: *Clinical Neurophysiology* Vol 124, No 7, 2013: pp. e11-e12, DOI: 10.1016/j.clinph.2012.12.020, M22, IF(2012)=3,144)
7. Belić J., **Savić A.**, “Brain Computer Interface-based algorithm for the detection of finger movement”, - *Proceedings of the 8th FENS*, Barcelona, Spain, 2012, Vol 6, No 4248, pp.1
8. **Savić A.**, Popović M.B., Popović D.B.: „Event related desynchronization/synchronization based method for quantification of neural activity during self-paced versus cue-based motor task,“ -*Proceedings of the Symposium Symposium of Clinical Neurology 2011 with international participation*, Military Medical Academy, Belgrade, Serbia, 2011, pp. 34-35
(Printed in: *Clinical Neurophysiology* Vol 123, No 7, 2012, pp. e81-e81, DOI: 10.1016/j.clinph.2011.11.058, M22, IF(2012)=3,144)
9. **Savić A.**, Popović M.B., Popović D.B.: „Method for Voluntary Movement Detection in Tremor Patients Based on Single-Trial EEG“ - *Proceedings of the Conference Integrating Brain-Computer Interfaces with Conventional Assistive Technology. TOBI*, Graz, Austria, 2010 pp. 15
10. **Savić A.**, Popović M.B., Popović D.B.: „Detection of the “will to move” for an ambulatory system for tremor suppression based on functional electrical stimulation,“ - *Proceedings of the 9th Congress of Clinical Neurophysiology with International Participation*, Military Medical Academy, Belgrade, Serbia, 2009, pp. 20-21
(Printed in: *Clinical Neurophysiology* Vol 121, No 4, 2010, pp. e16. DOI:10.1016/j.clinph.2009.11.067, M21, IF(2010)=2,786)

Kategorija M53:

1. Šobajić N., **Savić A.**: Comparison of the event-related desynchronization during self-paced movement and when playing a Nintendo Wii game, *Telfor Journal*, Vol 3, No 1, 2011, pp. 72-75. (ISSN (Print) 1821-3251, ISSN (Online) 2334-9905)
2. Božić I., Klisić Đ., **Savić A.**: Detection of breathing phases, *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol 6, N. 3, 2009, pp. 389-398.

Kategorija M62:

1. **Savić A.**, Popović M.B.: „Brain signals in assistive technologies,“ -*Proceedings of the 2nd Memorial Symposium “Petar Arežina”: research in Neural Rehabilitation*, SANU, Belgrade, Serbia, 2012.

Kategorija M63:

1. Stevanović M., **Savić A.**: “Virtual Menu based on P300 Evoked Potentials,“ -*Proceedings of the 56th ETRAN Conference*, Zlatibor, Srbija, 2012, ME1.8, pp. 1-4, (ISBN 978-86-80509-67-9.)
2. Božić I., Savić K., **Savić A.**: “Softver za obradu elektrofizioloških signala,“ - *Proceedings of the 54th ETRAN Conference*, Donji Milanovac, Srbija, 2010, ME1.3, pp.1-4
3. Božić I., Klisić Đ., **Savić A.**: "Detekcija faza tokom disanja," - *Proceedings of the 53rd ETRAN Conference*, Vrnjačka banja, Srbija, 2009, ME2.6, pp. 1-4

Kategorija M64:

1. Golubović B., **Savić A.**, Ković, V., Popović, M.B.: „Changes in the EEG during motor reaction to lexical decision task“ – *Proceedings of the 1st Conference Brain-Computer Interface from Student-to-Student Interface*, 14. March 2014, Belgrade, Serbia, pp. 5. (ISBN: 978-86-7466-496-4)
2. Ilić O., Ković V. **Savić A.**, Thierry G.: „Razlike u tematskom i taksonomskom procesiranju: ERP studija,“ *Knjiga sažetaka naučno-stručnog skupa: Savremeni trendovi u psihologiji*, Odsek za psihologiju, Filozofski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, 2013, pp. 112-113
3. **Savić A.**: „Brain-Computer Interface in Neurorehabilitation“ – *Proceedings of the 1st Conference Brain-Computer Interface from Student-to-Student Interface*, 14. March 2014, Belgrade, Serbia, pp. 5. (ISBN: 978-86-7466-496-4)

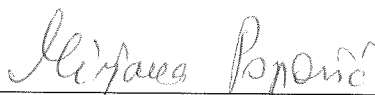
5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу наведеног Комисија констатује да докторска дисертација кандидата **Андреја Савића** под називом **"Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији"** представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос у домену асистивних технологија у области рехабилитационог инжењерства. Дисертација је написана према прихваћеним стандардима у научно-истраживачком раду, у сагласности је са образложењем датим у пријави теме и садржи све елементе које предвиђа Правилник о докторским студијама Електротехничког факултета. У докторској дисертацији су предложене, анализирани и дискутовани могућности примене различитих компоненти електроенцефалографских сигнала за управљање мозак-рачунар интерфејсом са ресторативним ефектима у неурорехабилитацији након могућег удара. Кандидат је у оквиру дисертације предложио конкретна, савремена хардверско/софтверска решења и дизајнирао иновативне системе који су описани и тестирани са приказаним резултатима предложених методологија. Проблематика којом се бави ова докторска дисертација је веома актуелна и савремена са становишта научног, стручног и практичног доприноса и њоме се тренутно бави већи број водећих научно-истраживачких институција у свету. Из достављене документације констатујемо да је кандидат Андреј Савић успешно интегрисан у рад у овој области са истраживачима у Европи.

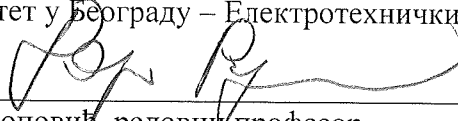
На основу претходно наведеног, Комисија са задовољством констатује да кандидат Андреј Савић испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду-Електротехничког факултета. Комисија предлаже Научно-наставном већу Универзитета у Београду-Електротехничког факултета, да се докторска дисертација под називом **„Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији“** кандидата **Андреја Савића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и одобри јавна усмена одбрана.

Београд, 14. август 2014.

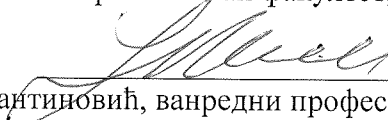
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



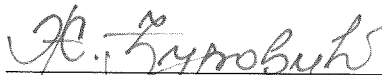
др Мирјана Поповић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



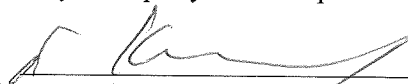
др Дејан Поповић, редовни професор
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет, дописни члан САНУ



др Љубица Константиновић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Медицински факултет



др Жељко Ђуровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др. Бранко Ковачевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет