

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Андреја Савића** мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5005/10-1 која је донета на седници Изборног и Наставно-научног већа Електротехничког факултета, Универзитета у Београду бр.770 одржане 21. јануара 2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Андреја Савића** мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији“**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

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 Осмокровића 2008. године. Дипломске академске-мастер студије на модулу Биомедицински и еколошки инжењеринг на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду уписао је 2008. године и са просечном оценом 10 завршио 2010. године. Мастер рад под називом „Интелигентна детекција тремора из вољног покрета“ под меторством проф. Мирјане Поповић одбранио је са оценом 10. Докторске студије на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду на модулу Управљање системима и обрада сигнала уписао је 2010. године. Положио је све испите са просечном оценом 10.

Андреј Савић од јануара 2011 ради на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, у оквиру Лабораторије за Биомедицинску Инструментацију и Технологије (БМИТ) као истаживач 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. Андреј Савић је ангажован и на истраживачким пројектима у оквиру предузећа Tecnalia Serbia DOO у Београду.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

1.2.1 Стечено научноистраживачко искуство из области теме докторске дисертације пре уписа докторских студија

Андреј Савић је у периоду септембар 2009 – фебруар 2010, током мастер студија био ангажован као истраживач на Европском FP7 пројекту (FP7-ICT-2007-224051 TREMOR) “*An ambulatory BCI-driven tremor suppression system based on functional electrical stimulation*”. Истраживачки рад на овом пројекту обухватио је обраду и анализу електроенцефалографских (ЕЕГ) сигнала особа са тремором руку ради развоја алгорита за препознавање вољне компоненте тремулотног покрета директно из ЕЕГ-а испитаника. Кандидат је учествовао у развоју алгорита за потребе управљања мултимодалним системом за супресију тремора функционалном електричном стимулацијом (ФЕС), базираном на мозак-рачунар интеракцији (енгл. *Brain Computer Interface – BCI*). Кроз рад на овом пројекту кандидат се припремао и усавршавао за рад у областима обраде ЕЕГ сигнала, развоју мозак-рачунар интерфејса, ФЕС технологије, као и обраде других електрофизиолошких (електромиографских – ЕМГ) и биомеханичких (са инерцијалних сензора) сигнала. Опис развијене методологије и алгорита за обраду података као и добијених резултата приказани су у оквиру његове мастер тезе „Интелигентна детекција тремора из вољног покрета“ под меторством проф. Мирјане Поповић.

1.2.2 Стечено научноистраживачко и радно искуство након уписа докторских студија

Област научног интересовања Андреја Савића је у домену развоја метода за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији применом електроенцефалографских сигнала. У континуитету свог научно-истраживачког рада, у оквиру националног пројекта “Ефекти асистивних система у неурорехабилитацији: опоравак сензорно-моторних функција”, кандидат је развио нове методе аквизиције и обраде ЕЕГ и евоцираних потенцијала (ЕП) у Лабораторији за Биомедицинску Инструментацију и Технологије (БМИТ) ЕТФ-а и тиме проширио област аквизиције сигнала у оквиру лабораторије.

Кандидат је поред истраживачког рада учествовао и у настави на Електротехничком факултету претежно ради упознавања студената са методама снимања електроенцефалографских (ЕЕГ) и других електрофизиолошких сигнала, методама обраде и анализе електрофизиолошких сигнала и мозак-рачунар интерфејс системима. Са тим циљем кандидат је био задужен за састављање и одржавање следећих предавања, рачунских вежби и практичних демонстрација у склопу неколико предмета основних и мастер студија Одсека за Сигнале и системе (OS):

1. Сигнали и системи у организму (OS3/OF3 SSO) – практична демонстрација под називом „Мерење електроенцефалографских сигнала“
2. Аквизиција електрофизиолошких сигнала (OS3/OF3 AES) – учествовао у одржавању једаног семестра лабораторијских вежби и одржавање предавања под називом „Аквизиција електроенцефалографских сигнала“, „Аквизиција евоцираних потенцијала“ и „Магнетоенцефалографија“
3. Клиничко инжењерство (OS4/OF4/MS1 KLI) – одржавање предавања „Електрична стимулација дубоких можданих структура (*deep brain stimulation*) и транскранијална стимулација једносмерном струјом (*transcranial direct current stimulation*)“.
4. Методе анализе електрофизиолошких сигнала (OS4/OF4/MS1 MAS) – предавање и практична вежба под називом “Временско-фреквенцијска анализа сигнала: Краткотрајна Фуријеова трансформација и *Wavelet* трансформација“.
5. Неурално инжењерство (MS1NI) – предавање и практична демонстрација под називом „Мозак-рачунар интерфејс системи (*Brian-Computer/Machine Inteface*)“

Кандидат је учествовао у супервизији и пружио стручну помоћ студентима (планирање и учествовање у извођењу експерименталог дела, обради резултата и/или структурирању текста рада) у изради следећих мастер радова, дипломских радова и студентских пројеката:

Мастер радови

- Никола Шобајић (бр.индекса: 10\3316) „*Cortical activity variations in voluntary and stimulation induced movements*“, 2012, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ментор: проф. др Дејан Поповић.
- Јелена Сучевић под називом „Испитивање језичко-симболичких кореспонденција у српском језику: бихејвиорална и ERP студија“, 2013, Универзитет у Београду, Филозофски факултет Одељење за психологију, ментор: Доц. др Вања Ковић.

Дипломски радови

- Никола Шобајић (бр.индекса: 06/350) „Поређење десинхронизације везане за догађај приликом вршења вољних покрета и приликом играња *Nintendo Wii* игре“, 2010, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ментор: проф. др Дејан Поповић.
- Бојана Мирковић (бр.индекса: 07/165) „Детекција замишљених покрета руку и ногу из електроенцефалографских сигнала“, 2012, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ментор: проф. др Дејан Поповић.
- Марија Стевановић „Тестирање поузданости виртуелног менија базираног на *P300* евоцираним потенцијалима“, 2012, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ментор: проф. Дејан Поповић.

Семестрални пројекти

- Јована Белић (бр.индекса: 10\3273) „Процена могућности примене кортиканих сигнала за процену намере покрета руке“, 2010, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, из предмета Неурално инжењерство, ментор: проф. др Дејан Поповић.
- Никола Шобајић (бр.индекса: 10\3316) „*P300 Speller* – Студија изводљивости“, 2011, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, из предмета Неурално инжењерство, ментор: проф. др Дејан Поповић.
- Марко Филиповић (бр.индекса: 10/3155) „Аквизиција и анализа стационарних визуелних евоцираних потенцијала“, 2011, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, из предмета Неурално инжењерство, ментор: проф. др Мирјана Поповић, проф. др Дејан Поповић.
- Владимир Којић (бр.индекса: 07/538) „Локализација извора ЕЕГ активности методом *sLORETA*“, 2012, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Семестрални пројекат, ментор: проф. др Мирјана Поповић.
- Маријана Јовандић (бр.индекса: 08/61), Тијана Петровић (08/138), Миодраг Чупић (08/298) „Фацијалне експресије и ЕЕГ – ERP студија“, 2012, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Семестрални пројекат, ментор: проф. др Мирјана Поповић.
- Марија Стевановић (бр.индекса: 07/155) и Бојана Мирковић (07/165) „БМИТ *P300 Speller*“, 2012, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Семестрални пројекат, ментор: проф. др Мирјана Поповић.

Кандидат је као гостујући предавач по позиву одржао више од 15 предавања и интерактивних демонстрација из области мозак-рачунар интеракције, обраде и анализе ЕЕГ сигнала и неурофидбека. Нека од тих предавања су одржана на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду (децембар 2010), на Факултету за електротехнику, рачунарство и информатику, Универзитета у Марибору (децембар 2011), у лабораторији за експерименталну психологију, Филозофског факултета, Универзитета у Београду (април 2012) и у оквиру курса Ергономија (курс за студенте докторских студија), Филозофског факултета, Универзитета у Београду (мај 2012).

Кандидат је од 2011. године један од организатора скупа поводом међународне Недеље свести о мозгу (енгл. *BrainAwareness Week – BAW*), манифестације организоване под покровитељством DANA алијансе (*The Dana Alliance for Brain Initiatives*). Овај догађај под називом “*Brain-Computer Interface from Student-Student Interface*”, скраћено “*BCI from SSI*” се од тада одржава сваке године на ЕТФ-у и пре свега је намењен промоцији научних резултата истраживачке Групе за биомедицинску инструментацију и технологије (БМИТ) из области биомедицинског инжењеринга, а посебно неуронаука и неурорехабилитације особа са моторним оштећењем, као и промоцији предмета биомедицинског инжењерства и технологија у оквиру ЕТФ-а.

Септембра 2012. године, кандидат је учествовао је у припреми научно-популарних демонстрација за Фестивал роботике, у организацији ЕТФ-а и Центра за промоцију науке у Београду.

Од марта 2012. године, кандидат је члан Студентске секције за Неуронауке, Друштва за Неуронауку Србије.

Кандидат је стекао клиничко искуство на Институту за рехабилитацију " Др Мирослав Зотовић " у Београду при тестирању развијених метода на особама након церебро-васкуларног инсульта (ЦВИ) и повреде мозга, као и на Клиници за неурологију, Клиничког центра Србије у Београду са пацијентима са тремором.

Кандидат је под руководством ментора проф. др Мирјане Поповић. имао учешће у планирању и започињању тренутно актуелних сарадњи са следећим институцијама:

инострани

- Универзитет у Алборгу, Данска (*Center for Sensory-Motor Interaction, Aalborg University, Denmark*). Сарадња са *assoc. prof. Natalie Mrachach Kersting*, у циљу дизајнирања нових протокола за рехабилитацију пацијената након можданог удара применом мозак-рачунар интеракције.
- Универзитет у Јуваскули, Финска (*Department of Health Sciences, University of Jyväskylä, Finland*). Сарадња са *prof. Ina Tarkka* у циљу испитивања структурних и/или функционалних разлика мозга монозиготних близанаца у односу на ниво физичке активности (*ERP* студија).

националне

- Факултет организационих наука, Универзитет у Београду. Сарадња са доц. др Зораном Шеварцем, на развоју метода за класификацију ЕЕГ сигнала на бази вештачких неуралних мрежа.
- Филозофски факултет, Универзитет у Београду. Сарадња са доц др Вањом Ковић на 3 студије које укључују мерење, обраду и анализу електроенцефалографских кортикалних евоцираних потенцијала (*ERP*).
- Институт за рехабилитацију " Др Мирослав Зотовић. Сарадња са проф. др Љубицом Константиновић у циљу тестирања нових протокола за рехабилитацију пацијената након можданог удара применом мозак-рачунар интеракције и функционалне електричне терапије.
- Клиника за неурологију и психијатрију за децу и омладину, КЦС. Сарадња са доц. др. Јасном Јанчић на могућности примене неурофидбека као терапијске методе код деце са оштећењима централног нервног система.
- Дом здравље Једро, Београд. Сарадња са доц. др Ненадом Рајшићем на методама идентификације извора епилептичке активности из ЕЕГ сигнала.

1.2.3 Награде и признања

Кандидат је током мастер и докторских студија освојио следећа признања, награде и стипендије за усавршавање у иностранству:

1. Награда за најбољи рад из области Биомедицинска техника под називом „Детекција фаза током дисања“ на конференцији „ЕТРАН 2009“
1. 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*”
2. 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 у активностима везаним за ову посету била је поверена: *prof. Damjan Zazula (PhD), assoc. prof. Aleš Holobar (PhD)*
3. Стипендије 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 у активностима везаним за ову посету било је поверено: *prof. Ina Tarkka (PhD)*
4. Стипендије 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 у активностима везаним за ову посету било је поверено: *assoc. prof. Natalie Mrachach Kersting (PhD)*.
5. Добитник је "Travel Award" новчане награде за надокнаду путних трошкова ради интерактивне демонстрације рада лабораторијског прототипа мозак-рачунар интерфејс система развијеног у току истраживачког рада у оквиру БМИТ групе (*BMBI (Brain Machine Body Interface) workshop travel award (1200 USD) by IEEE EMB (Engineering in Medicine and Biology) Conference*). Демонстрација се одржавала на специјализованој радионици посвећеној мозак-машина-тело-интерфејс системима (*IEEE EMB/CAS/SMC Workshop on Brain-Machine-Body Interfaces*) у оквиру ЕМБС'12 конференције у Сан Диегу, Калифорнија, САД, 27. Авг 2012.

1.2.4 Листа публикација

Радови објављени у научним часописима од међународног значаја са импакт фактором

(M21) **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, 2014, pp. 1-11. (DOI:10.1155/2014/797128, ISSN: 1537-744X, IF(2012)=1.73)

(M23) 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, 2013 pp. 930–937. (DOI: 10.1002/mus.23840, ISSN: 1097-4598, IF(2012)=2,314)

(M23) 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, 2013. pp. 1-2, (ISSN (Online) 1862-278X, ISSN (Print) 0013-5585, DOI: 10.1515/bmt-2013-4161, IF(2012)=1,157)

Радови објављени у зборницима међународних скупова штампано у целини (M33)

- **Savić A.**, Malešević N., Popović M.B.: *Motor imagery driven BCI with cue-based selection of FES induced grasps*, - Proceedings of the 1st International Conference on Neurorehabilitation, ICNR 2012, Vol. 1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Toledo, Spain, 2012 pp. 513.-516. (DOI: 10.1007/978-3-642-34546-3_82)
- **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, Vol 37, 2012, pp. 806-809, (DOI:10.1007/978-3-642-23508-5_210)
- **Savic A.**, Niazi, I.K., Popovic 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>)
- 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, November 23-25, Belgrade, Serbia. pp. 1379 - 1382
(Објављено у: Telfor Journal Vol 3, No 1, 2011, pp. 72-75.)

Радови објављени у зборницима међународних скупова штампани у изводу (M34)

- 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
- 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
- Sucevic J., Kovic V., **Savic 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
- **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.
- **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
(Објављено у: Clinical Neurophysiology Vol 124, No 7, 2013: pp. e11-e12, DOI: 10.1016/j.clinph.2012.12.020, M22, IF(2012)=3,144)
- Belić J., **Savić A.**, "Brain Computer Interface-based algorithm for the detection of finger movement", Proc of the 8th FENS, Barcelona, Spain, 2012, Vol 6, No 4248, pp.1
- **Savić A.**, Popović M.B., Popović D.B.: *Event related desynchronisation/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
(Објављено у: Clinical Neurophysiology Vol 123, No 7, 2012, pp. e81-e81, DOI: 10.1016/j.clinph.2011.11.058, M22, IF(2012)=3,144)

- **Savić A.**, Popović M.B., Popović D.B.: *Voluntary movement detection method from tremor patients EEG on the single-trial basis*, - Proceedings of the Conference Integrating Brain-Computer Interfaces with Conventional Assistive Technology, TOBI, Graz, Austria, 2010 pp. 15
- **Savic A.**, Popovic M.B., Popovic 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
(Објављено у: Clinical Neurophysiology Vol 121, No 4, 2010, pp. e16.
DOI:10.1016/j.clinph.2009.11.067, M21, IF(2010)=2,786)

Радови у часописима националног значаја (M53)

- Božić I., Klisić Đ., **Savić A.**: *Detection of breathing phases*, - Serbian Journal of Electrical Engineering Vol 6, N. 3, 2009, pp. 389-398.

Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у изводу (M62)

- **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.

Радови у зборницима скупова националног значаја штампани у целини (M63)

- Božić I., Klisić Đ., **Savić A.**: *Detection of Breathing Phases*, - Proceedings of the 53rd ETRAN Conference, Vrnjačka banja, Serbia, 2009, section ME2.6, pp. 1-4
(Објављено у: Serbian Journal of Electrical Engineering Vol 6, No 3, 2009, pp. 389-398.)
- Božić, A. Savić, K. Savić, “Softver za obradu elektrofizioloških signala” Proceedings of the 54th ETRAN Conference, Donji Milanovac, Serbia, 2010, section ME1.3, pp.1-4
- Stevanović M., **Savić A.**: *Virtual Menu based on P300 Evoked Potentials*, - Proceedings of the 56th Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automatic Control and Nuclear Engineering, ETRAN, Zlatibor, Serbia, 2012 section ME1.8, pp. 1-4
(ISBN 978-86-80509-67-9.)

Радови у зборницима скупова националног значаја штампани у изводу (M64)

- 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

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Андреј Савић је у досадашњем раду показао изузетно велики интерес за рад у области примене електроенцефалографије за управљање асистивним системима у неурорехабилитацији. У континуитету научно-истраживачког рада на мастер студијама кандидат се систематски упознаје са постојећим техникама и методама за снимање, обраду и анализу електроенцефалографских сигнала, укључујући и евоциране потенцијале развијајући самостално хардверска и софтверска решења за њихову реализацију. Истовремено, као резултат сарадње са научницима из лабораторија у којима је радио као стипендиста научних пројеката, кандидат развија нове методе усмерене на пројектовање потпуно нових алгоритама управљања асистивним системима у неурорехабилитацији. Своје методе, након евалуације у лабораторијским условима, кандидат тестира на пацијентима. Кандидат је већ остварио значајне резултате у области теме докторске дисертације што показују публикације, активно учешће на конференцијама и скуповима, учешће на пројектима, као и награде и стипендије. Паралелно са научно-истраживачким радом кандидат свој научни развој обогађује значајним педагошким радом са студентима у домену теме дисертације.

Узимајући у обзир све наведене чињенице и резултате досадашњег рада Андреја Савића Комисија има позитивно мишљење о квалификованости кандидата за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Развој интерфејсних система мозак-рачунар (енгл. *Brain Computer Interface-BCI*) указао је на могућност да се детектована могућна активност корисника повеже сигнаlima за управљање и/или комуникацију са рачунаром, софтверском апликацијом или неким другим уређајем [1]. Различити ментални задаци и спољни стимулуси индукују промене које се могу идентификовати мерењем електроенцефалографских (ЕЕГ) сигнала [1]. Детекција ових промена и њихова трансформација у управљачке сигнале омогућава вид комуникације и/или управљања без физичког покрета [1-7]. На тај начин је намера корисника директно процењена без уобичајених излазних путева са кичмене мождине и периферног моторног система. Неке од компоненти ЕЕГ сигнала које се могу искористити за управљање мозак-рачунар интерфејс системима су: стационарни евоцирани потенцијали (енгл. *steady state visual evoked potentials* - SSVEP), десинхронизација/синхронизација моторних ритмова (енгл. *event related desynchronisation/ synchronization* - ERD/ERS), P300 евоцирани потенцијали и моторни евоцирани кортикални потенцијали (енгл. *movement related cortical potentials* - MRCP) [3-10]. Примене оваквих система углавном су фокусиране на област неурорехабилитације, код особа које су преживеле оштећења централног нервног система (лезије) и то са потенцијалном двојаким улогом: замена и/или ресторација изгубљене моторне функције [2,10-16]. Предмет истраживања у оквиру рада на докторској тези су методе мерења, обраде и анализе електроенцефалографских сигнала са циљем идентификације релевантних ЕЕГ компоненти које се могу искористити за управљање асистивним системима у неурорехабилитацији пацијената који не могу да изведу функционалне покрете. Значај овог истраживања састоји се у могућности побољшања конвенционалних асистивних метода неурорехабилитације пацијената након цереброваскуларног инсульта. Допринос примене ЕЕГ управљања системима за неурорехабилитацију представља њихова могућност да потенцијално повећавајући брзину и степен моторног опоравка ових пацијената [10-16]. Ефикасност система на бази мозак-рачунар интеракције у односу на класичне неурорехабилитационе модалитете састоји се у могућности стварања стимулишуће повратне спреге, која симулира природни пут неуро-мишићних активација, а резултат комбинације ових модалитета су хибридни рехабилитациони системи [17-27]. На пример, показано је да замишљање покрета или жеља/намера да се изведе покрет може се детектовати из ЕЕГ сигнала [4, 5, 28-33]. Након детекције, замишљени покрет се даље претвара у команду уређају који генерише одговарајући (сличан) реални покрет применом нпр. ФЕС, ортозе или асистивног роботског система [4, 6, 8, 30, 31]. Клиничке студије указују да стварање овакве повратне спреге између намере да изведе покрет и одговарајућег, прецизно временски синхронизованог сензорног одговора могу додатно стимулисати неуро-пластичне промене и тиме поспешити и убрзати моторни опоравак пацијената [10-16,34-39].

Листа референци

1. J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan, "Brain-computer interfaces for communication and control," *Clinical Neurophysiology*, vol. 113, no. 6, pp. 767–791, 2002.
2. S. R. Soekadar, N. Birbaumer, and L. G. Cohen, "Brain-computer interfaces in the rehabilitation of stroke and neurotrauma," in *Systems Neuroscience and Rehabilitation*, pp. 3–18, Springer, Berlin, Germany, 2011.
3. E. W. Sellers, T. M. Vaughan, and J. R. Wolpaw, "A brain-computer interface for long-term independent home use," *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, vol. 11, no. 5, pp. 449–455, 2010.
4. G. Pfurtscheller, G. R. Müller, J. Pfurtscheller, H. J. Gerner, and R. Rupp, "'Thought'—control of functional electrical stimulation to restore hand grasp in a patient with tetraplegia," *Neuroscience Letters*, vol. 351, no. 1, pp. 33–36, 2003.

5. G. Pfurtscheller, C. Guger, G. Müller, G. Krausz, and C. Neuper, "Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic," *Neuroscience Letters*, vol. 292, no. 3, pp. 211–214, 2000.
6. F. Galán, M. Nuttin, E. Lew et al., "A brain-actuated wheelchair: asynchronous and non-invasive Brain-computer interfaces for continuous control of robots," *Clinical Neurophysiology*, vol. 119, no. 9, pp. 2159–2169, 2008.
7. N. Birbaumer, N. Ghanayim, T. Hinterberger et al., "A spelling device for the paralysed," *Nature*, vol. 398, no. 6725, pp. 297–298, 1999.
8. R. Ortner, B. Z. Allison, G. Korisek, H. Gaggli, and G. Pfurtscheller, "An SSVEP BCI to control a hand orthosis for persons with tetraplegia," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 1–5, 2011.
9. M. Middendorf, G. McMillan, G. Calhoun, and K. S. Jones, "Brain-computer interfaces based on the steady-state visual-evoked response," *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 211–214, 2000.
10. N. Mrachacz-Kersting, S. R. Kristensen, I. K. Niazi, and D. Farina, "Precise temporal association between cortical potentials evoked by motor imagination and afference induces cortical plasticity," *The Journal of Physiology*, vol. 590, no. 7, pp. 1669–1682, 2012.
11. B. H. Dobkin, "Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation," *The Journal of Physiology*, vol. 579, no. 3, pp. 637–642, 2007.
12. N. Birbaumer and L. G. Cohen, "Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis," *The Journal of Physiology*, vol. 579, no. 3, pp. 621–636, 2007.
13. J. J. Daly and J. R. Wolpaw, "Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation," *The Lancet Neurology*, vol. 7, no. 11, pp. 1032–1043, 2008.
14. M. Grosse-Wentrup, D. Mattia, and K. Oweiss, "Using brain-computer interfaces to induce neural plasticity and restore function," *Journal of Neural Engineering*, vol. 8, no. 2, Article ID 025004, 2011.
15. K. K. Ang and C. Guan, "Brain-computer interface in stroke rehabilitation," *Journal of Computing Science and Engineering*, vol. 7, pp. 139–146, 2013.
16. I. K. Niazi, N. Mrachacz-Kersting, N. Jiang, K. Dremstrup, and D. Farina, "Peripheral electrical stimulation triggered by self-paced detection of motor intention enhances motor evoked potentials," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 20, pp. 595–604, 2012.
17. J. d. R. Millan, R. Rupp, G. R. Müller-Putz, et al., "Combining brain-computer interfaces and assistive technologies: state-of-the-art and challenges," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 4, article 161, 2010. View at Publisher · View at Google Scholar
18. G. Pfurtscheller, B. Z. Allison, C. Brunner, et al., "The hybrid BCI," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 4, p. 30, 2010. View at Publisher · View at Google Scholar
19. Z. Allison, C. Brunner, V. Kaiser, G. R. Müller-Putz, C. Neuper, and G. Pfurtscheller, "Toward a hybrid brain-computer interface based on imagined movement and visual attention," *Journal of Neural Engineering*, vol. 7, no. 2, Article ID 026007, 2010.
20. Savić, U. Kisić, and M. Popović, "Toward a hybrid BCI for grasp rehabilitation," in *Proceedings of the 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*, pp. 806–809, 2012.
21. M. B. Popović, D. B. Popović, T. Sinkjær, A. Stefanovic, and L. Schwirtlich, "Restitution of reaching and grasping promoted by functional electrical therapy," *Artificial Organs*, vol. 26, no. 3, pp. 271–275, 2002.
22. D. B. Popović, T. Sinkjær, and M. B. Popović, "Electrical stimulation as a means for achieving recovery of function in stroke patients," *NeuroRehabilitation*, vol. 25, no. 1, pp. 45–58, 2009.
23. D. B. Popović, M. B. Popović, T. Sinkjær, A. Stefanovic, and L. Schwirtlich, "Therapy of paretic arm in hemiplegic subjects augmented with a neural prosthesis: a cross-over study," *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, vol. 82, no. 8-9, pp. 749–756, 2004.
24. M. B. Popović, D. B. Popović, T. Sinkjær, A. Stefanovic, and L. Schwirtlich, "Clinical evaluation of functional electrical therapy in acute hemiplegic subjects," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 40, no. 5, pp. 443–453, 2003.
25. M. B. Popović, D. B. Popović, L. Schwirtlich, and T. Sinkjær, "Functional electrical therapy (FET): clinical trial in chronic hemiplegic subjects," *Neuromodulation*, vol. 7, no. 2, pp. 133–140, 2004.

26. D. B. Popović, M. B. Popović, and T. Sinkjær, "Neurorehabilitation of upper extremities in humans with sensory-motor impairment," *Neuromodulation*, vol. 5, no. 1, pp. 54–67, 2002.
27. P. H. Peckham and J. S. Knutson, "Functional electrical stimulation for neuromuscular applications," *Annual Review of Biomedical Engineering*, vol. 7, pp. 327–360, 2005.
28. G. Pfurtscheller and F. H. Lopes Da Silva, "Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles," *Clinical Neurophysiology*, vol. 110, no. 11, pp. 1842–1857, 1999.
29. G. Pfurtscheller and C. Neuper, "Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans," *Neuroscience Letters*, vol. 239, no. 2-3, pp. 65–68, 1997. View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus
30. Savić, N. Malešević, and M. B. Popović, "Motor imagery based BCI for control of FES," *Clinical Neurophysiology*, vol. 124, pp. e11–e12, 2013.
31. Savić, N. Malešević, and M. B. Popović, "Motor imagery driven BCI with cue-based selection of FES induced grasps," in *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*, J. L. Pons, D. Torricelli, and M. Pajaro, Eds., vol. 1, pp. 513–516, Springer, Berlin, Germany, 2013.
32. Savić, M. B. Popović, and D. B. Popović, "Event related desynchronisation/synchronization based method for quantification of neural activity during self-paced versus cue-based motor task," *Clinical Neurophysiology*, vol. 123, p. e81, 2012.
33. Savić, M. B. Popović, and D. B. Popović, "Detection of the "will to move" for an ambulatory system for tremor suppression based on functional electrical stimulation," *Clinical Neurophysiology*, vol. 121, p. e16, 2010.
34. A. Caria, C. Weber, D. Brötz et al., "Chronic stroke recovery after combined BCI training and physiotherapy: a case report," *Psychophysiology*, vol. 48, no. 4, pp. 578–582, 2011.
35. G. Prasad, P. Herman, D. Coyle, S. McDonough, and J. Crosbie, "Applying a brain-computer interface to support motor imagery practice in people with stroke for upper limb recovery: a feasibility study," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 7, no. 1, article 60, 2010.
36. M. Stepień, J. Conradi, G. Waterstraat, F. U. Hohlefeld, G. Curio, and V. V. Nikulin, "Event-related desynchronization of sensorimotor EEG rhythms in hemiparetic patients with acute stroke," *Neuroscience Letters*, vol. 488, no. 1, pp. 17–21, 2011.
37. D. Broetz, C. Braun, C. Weber, S. R. Soekadar, A. Caria, and N. Birbaumer, "Combination of brain-computer interface training and goal-directed physical therapy in chronic stroke: a case report," *Neurorehabilitation and Neural Repair*, vol. 24, no. 7, pp. 674–679, 2010.
38. E. Buch, C. Weber, L. G. Cohen et al., "Think to move: a neuromagnetic brain-computer interface (BCI) system for chronic stroke," *Stroke*, vol. 39, no. 3, pp. 910–917, 2008.
39. J. J. Daly, R. Cheng, J. Rogers, K. Litinas, K. Hrovat, and M. Dohring, "Feasibility of a new application of noninvasive brain computer interface (BCI): a case study of training for recovery of volitional motor control after stroke," *Journal of Neurologic Physical Therapy*, vol. 33, no. 4, pp. 203–211, 2009.

3. Полазне хипотезе

Специфичне компоненте ЕЕГ сигнала као што су визуелни и моторни евоцирани потенцијали (ЕП) могу се искористити у здруженој (хибридној) архитектури за управљање у реалном времену асистивним системима базираним на функционалној електричној стимулацији (ФЕС).

Претпоставка је да се наведене ЕЕГ компоненте могу са задовољавајућом тачношћу (>70%) детектовати и искористити као управљачки сигнали система за функционалну електричну стимулацију мишића руке, формирајући затворену повратну спрегу између испитаникове жеље или намере да покрене руку (замишљања покрета) и стварног покрета изазваног електричном стимулацијом.

Претпоставка је да се применом ЕЕГ управљачких сигнала може додатно аутоматизовати рехабилитациони поступак функционалне електричне терапије чиме се кориснику даје већа слобода и самосталност у процесу терапије.

4. Научне методе истраживања

У оквиру рада на тези примењују се различите методе за снимање и обраду електроенцефалографских сигнала, издвајање ЕЕГ обележја и њихову класификацију. За развој методологије потребно је дизајнирати и реализовати поједине хардверске компоненте и комплетан софтвер за процесирање у реалном времену као и каснију анализу резултата мерења. Предложена методологија детекције ЕЕГ обележја заснива се искључиво на анализи снимљених сигнала. Сигнали се обрађују у софтверским пакетима Matlab и Labview а део обраде се ради у софтверима са специфичном наменом за обраду ЕЕГ сигнала *EEGlab* и *BESA*.

5. Очекивани научни допринос

Као резултат наших досадашњих истраживања произашао је нови хибридни рачунарски интерфејс систем за управљање функционалном електричном стимулацијом применом ЕЕГ сигнала. Предности овог система у односу на конвенционално управљање су интуитивна, аутоматизована контрола процеса бирања различитих стимулационих образаца као и аутоматизовано покретање стимулације искључиво детектовањем корисникове намере покрета руке из ЕЕГ сигнала.

Очекује се да истраживања постављењем платформе за развој хибридног система који би интегрисао управљање асистивног уређаја ЕЕГ сигналама, манипулацију шаке функционалном електричном стимулацијом и стимулишућу повратну информацију о постигнутом резултату унапреде концепт управљања рехабилитационим системима и омогуће њихово коришћење у клиничкој пракси тако да пацијенти могу самостално да вежбају (уз надзор терапеута).

Од уписа на докторске студије, као резултат истраживачког рада у наведеној области произашло је 22 публикације и од тога: три рада у међународним часописима са импакт фактором (један категорије M21 и два категорије M23), један рад у националном часопису категорије M53, тринаест публикација објављених у зборницима међународних конференција, једно предавање по позиву штампано у изводу, и четири публикације у зборницима националних конференција штампани у целини. При томе су три апстракта са међународних конференција штампани у међународним часописима са импакт фактором. Посебно истичемо рад у часопису категорије M21 на коме је кандидат први аутор и који је директно у вези теме докторске дисертације.

6. План истраживања и структура рада

- Приказ теоријских основа *BCI* система.
- Преглед постојећих *BCI* система.
- Приказ метода мерења ЕЕГ-а и метода индукције визуелних и моторних евоцираних потенцијала.
- Приказ метода обраде и анализе ЕЕГ сигнала и евоцираних потенцијала.
- Приказ 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 комерцијалог 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).
- Повезивање система за мерење ЕЕГ-а и електричног стимулатора за ФЕС мишића.
- Развој нове 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 каснију обраду меморисаних сигнала и анализу резултата.
- Тестирање развијеног система на здравим испитаницима.
- Писање научних публикација заснованих на резултатима тестирања развијених система.

7. Закључак и предлог

Из достављене документације која укључује биографију и библиографију кандидата Андреја Савића закључујемо да се ради о успешном и мотивисаном младом научнику. Такође, на основу података из биографије и библиографије закључили смо да је кандидат успешно интегрисан у рад у овој области са истраживачима у Европи. На основу изложеног, Комисија сматра да кандидат испуњава све суштинске и формалне услове за рад на докторској дисертацији, као и да је предложена тема актуелна у свету у области биомедицинског и рехабилитационог инжењерства. Сличном проблематиком се тренутно бави више врхунских истраживачких институција у свету, а досадашњи резултати кандидата припадају истом нивоу истраживања. Предлог истраживања сугерише да ће резултат бити практични систем чије ће тестирање формулисати и питања у коме смеру треба да се развијају истраживања у неурорехабилитацији особа са моторним оштећењем. Предложена истраживања и наведене методе показују зрелост кандидата као и познавање проблема примене система у клиничким условима.

На основу свих наведених релевантних чињеница наш закључак је да мастер инжењер Андреј Савић испуњава све услове за израду докторске дисертације и потврђујемо научну заснованост предложене теме „Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији“. Сходно томе Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета, Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације „Електроенцефалографски сигнали за управљање рачунарским интерфејсом у неурорехабилитацији“ и да кандидату Андреју Савићу омогући да приступи њеној изради. Тема докторске тезе је у оквиру области истраживања у домену Биомедицинске технике на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду, и предлажемо ментора редовног професора Електротехничког факултета, Универзитета у Београду др Мирјану Б. Поповић.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

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