

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Надице Миљковић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Електротехничког факултета бр. 768 од 05.11.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Надице Миљковић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства под насловом

Методе и инструментација за процену активности моторног система на основу електромиографских сигнала

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 Надица Миљковић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства је уписана на докторске студије Универзитета у Београду - Електротехнички факултет на модулу Управљање системима и обрада сигнала 26. новембра 2009. године. Пријава докторске дисертације под насловом **Методе и инструментација за процену активности моторног система на основу електромиографских сигнала** је поднета у фебруару 2013. године и на 760. седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Електротехничког факултета које је одржано 12. марта 2013. године константовано је да је Надица Миљковић пријавила дисертацију под наведеним насловом и у складу са Правилником о докторским студијама, Универзитета у Београду - Електротехнички факултет, предложена је комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Дејан Б. Поповић, дописни члан САНУ, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет, др Мирјана Б. Поповић, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет и др Ласло Швиртлих, редовни професор на Државном Универзитету у Новом Пазару. За ментора за израду докторске дисертације предложен је др Дејан Б. Поповић, дописни члан САНУ, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет.

На 762. седници Наставно-научног већа, Универзитета у Београду - Електротехнички факултет, одржаној 14. маја 2013. године усвојен је извештај комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације Надице Миљковић. На седници Универзитета у Београду - Већа научних области техничких наука бр. 25, одржаној 27. маја 2013. године дата је сагласност на предложену тему докторске дисертације.

Кандидаткиња је урађену дисертацију поднела на преглед и оцену 18. октобра 2013. године, а Наставно-научно веће Универзитета у Београду - Електротехничког факултета је на 768.

седници одржаној 5. новембра 2013. године, именовало комисију за преглед и оцену докторске дисертацију у саставу: др Дејан Б. Поповић, дописни члан САНУ и редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет (ментор), др Мирјана Б. Поповић, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет, др Ласло Швиртлих, редовни професор на Државном Универзитету у Новом Пазару, др Жељко Ђуровић, редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет и др Љубица Константиновић, ванредни професор на Универзитету у Београду - Медицински факултет.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација Надице Миљковић припада научној области **Техничке науке - електротехника**, а у ужем смислу области **Биомедицинско инжењерство**. За ментора докторске дисертације, одређен је др Дејан Б. Поповић, дописни члан САНУ и редовни професор на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет, због истакнутих доприноса у области биомедицинског инжењерства, посебно у областима рехабилитације и моторне контроле.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Надица Миљковић је рођена 2. јануара 1986. године у Крушевцу. У основној школи "Драгомир Марковић" и Гимназији (природно-математички смер) у Крушевцу била је носилац дипломе "Вук Караџић" и ђак генерације, као и носилац више диплома са Републичких и Савезних такмичења из математике и физике. Универзитет у Београду - Електротехнички факултет је уписала са 100 поена на пријемном испиту 2004. године и завршила основне студије на Катедри за сигнале и системе 2008. године са просечном оценом 8,58. Дипломски рад под менторством проф. Србијанке Турајлић **Фази управљање инверзним клатном** је одбранила са оценом 10. Исте године, уписала је мастер студије на модулу Биомедицински и еколошки инжењеринг на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет и завршила их 2009. године, са просечном оценом 9,67. Мастер рад **Полимиографија за анализу опоравка функција после повреде централног нервног система** је радила под менторством проф. Дејана Б. Поповића и одбранила га са одличном оценом 10.

Од септембра 2008. године, Надица Миљковић је ангажована у Лабораторији за Биомедицинску Инструментацију и Технологије (БМИТ) на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет као сарадник на пројекту, потом као сарадник у настави и лабораторијски инжењер. Децембра 2011. године изабрана је у звање асистента при Катедри за Сигнале и системе на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет. Тренутно учествује у извођењу наставе на 9 предмета на основним и мастер студијама на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет: Електрична мерења, Системи и сигнали у организму, Аквизиција електрофизиолошких сигнала, Практикум из софтверског пакета *LabVIEW*, Практикум из софтверских алата, Клиничко инжењерство, Неурално инжењерство, Моделирање система и процеса у организму и Методе анализе електрофизиолошких сигнала.

На Институту за Мултидисциплинарна истраживања у Београду је бирања у истраживача приправника у јуну 2010. године, а децембра 2010. године у звање истраживач сарадник.

Област истраживања Надице Миљковић је развој нових система (хардвер и софтвер) за аквизицију електрофизиолошких сигнала и интеграција нових метода и процедура у рехабилитацији пацијената са сензорно-моторним дефицитом. Истраживачки рад укључује

теоријска разматрања у домену неуронаука, инжењерске задатаке у домену обраде сигнала и клинички рад у тестирању и евалуацији теоријских резултата.

Надица Миљковић је била укључена у 2 пројекта: TEMPUS CRH-BME: *Curricula Reformation and Harmonisation in the field of Biomedical Engineering*, 144537-TEMPUS-2008-GR-JPCR; EU project, 2009-2011. и пројекат у области основних наука "Ефекти асистивних система у неурорехабилитацији: опоравак сензорно-моторних функција", бр. 175016, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја, Република Србија у периоду 2011-2014 и којим руководи проф. Мирјана Б. Поповић. Од маја 2009. Надица Миљковић је ангажована и на истраживачким пројектима у оквиру предузећа Tescalia Serbia DOO у Београду на развоју и примени система за мерење електрофизиолошких сигнала.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертације је написана на 112 страна и организована у 4 поглавља, има 3 прилога, 5 табела, 57 слика и 122 референце. Наслови поглавља су: 1) Увод, 2) Пројектовање уређаја, 3) Анализа електромиографских сигнала као функционалне мере сензорно-моторног система и 4) Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу, представљен је значај оцене статуса и дијагностике пацијената са сензорно-моторним дефицитом. Поглавље садржи основне аспекте, захтеве, предности и ограничења у примени електромиографије за оцену моторног система.

Друго поглавље садржи опис коришћених готових и пројектованих хардверских и софтверских компоненти уређаја за мерење и анализу електромиографских сигнала у циљу оцене сензорно-моторног статуса.

Три студије које су реализоване са циљем практичне примене пројектованог уређаја и метода у оцени сензорно-моторног статуса су дате у трећем поглављу: студија примене матричних електрода за мерење евоцираних потенцијала, студија за оцену контролисаног вољног покрета и студија оцене промењених цикличних мишићних контракција у терапији хода. У првој студији приказани су резултати примене нових матричних електрода са унапређеним протоколима и анализа просторно-временске расподеле мерених параметара. Посебно је показано како се пројектовани уређај и методе могу користити за проучавање анатомије мишића и проучавање ефеката централног нервног система на мишићни систем (кондиционирање евоцираних потенцијала). Ова студија је омогућила да се искористи визуелизација просторно-временске расподеле параметара мерених електромиографских сигнала за проучавање сензорно-моторног система. У другој студији су показани резултати мерења мишићних образаца за вољни, контролисани покрет стопала (дорзифлексија). Добијени резултати су посматрали у светлу процена добијених постојећим клиничким мерама које се користе за оцену ефеката терапије пацијената који су преживели мождани удар. Пројектована је мера процене коконтракције и приказана је примена резултата у дијагностици и предикцији опоравка који су од значаја за процес рехабилитације. Трећа студија обухвата мерење електромиографских сигнала са мишића ногу током хода и њени резултати су засновани на претходно уведеној мери за оцену мишићне коконтракције. Оцена цикличних покрета током хода је послужила за оцену две терапијске методе код пацијената

који су преживели мождани удар. Показано је да резултати могу да помогну при избору терапије хода.

У четвртом поглављу дат је закључак докторске дисертације. Дати су одговори на питања која су постављена у овом докторату у циљу доказа хипотезе. Показано је како је могуће на поуздан и поновљив начин користити нову инструментацију, протоколе и методе анализе у оцени сензорно-моторног дефицита. Нове методологије процене квалитета хода омогућени новом инструментацијом и новим методама обраде измерених вредности су важан додатак за диференцијалну објективну дијагностику, процену опоравка пацијента и планирање типа и интензитета терапије.

Дисертација укључује и 3 прилога. Прилог А приказује развој харверске аспекте новог електромиографског. Прилог Б даје преглед постојећег комерцијално доступног хардвера и софтвера за мерење и анализу електромиографских сигнала. Коначно, пролог Ц приказује топографску анализу просторне и временске расподеле електричне активности мишића одређену на основу мерења матричним електродама.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема докторске дисертације припада домену нових истраживачких праваца у Европи и свету у домену процене стања сензорно-моторног система на основу електромиографије. Истраживање које је представљено у овој дисертацији се односи на развој нових метода детекције специфичности електрофизиолошких сигнала софистицираним процесирањем. Приказана решења су и прилог развоја нових модела процеса у сензорно-моторном систему човека. Приказане нове методе су омогућиле објективизацију спонтаних и евоцираних активности мишића. У тези је детаљно приказан и нови стандард за примену протокола и инструментације за мерење евоцираних потенцијала који омогућују транслацију резултата у клиничку праксу.

Новоразвијени систем има две основне намене: подршка базичним истраживањима у домену наука и подршка клиничком раду у праћењу промена у електрофизиолошким параметрима у случају болести. Клиничка примена, која је и показана у дисертацији има посебан значај јер потенцијално омогућује праћење стања и опоравка у процесима рехабилитације. Научни резултати докторске дисертације и техничка решења која су пратила ова истраживања су директно примењени у клиничкој пракси. Ова примена је развијена да би постала допуна конвенционалним валоризованим клиничким скалама које се користе за процене стања пацијента. Развијена метода је довољно осетљива да укаже на потенцијалне патолошке промене и да прати ток опоравка.

Оригиналност дисертације је нова инструментација и нове методе обраде сигнала добијене на бази научног истраживања, као и у развоју протокола за објективизацију стања сензорно-моторног система на основу електромиографских сигнала.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе у докторској дисертацији указује да је приликом истраживања коришћена релевантна најновија литература у области. Такође, кандидаткиња је проучила највећи број релевантних публикација који су од значаја за научну област којој припада дисертација. Литература садржи и 12 радова чији је аутор или коаутор кандидаткиња.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање у оквиру ове дисертације је обухватило следеће фазе:

1. Проучена је физиологија и проучени су постојећи протоколи за примену инструментације за мерење електромиографских сигнала за оцену сензорно-моторног система.
2. Унапређена је инструментација за мерење електромиографских сигнала увођењем вишеканалне стимулације и вишеканалног мерења уз употребу матричних сензора.
3. Развијене су методе обраде и визуелизације електромиографских сигнала које су омогућиле дијагностику сензорно-моторног система.
4. Извршена су мерења на здравим испитаницима и на пацијентима са моторним дефицитом.
5. Извршено је поређење новоразвијене методе оцене моторно-сензорног дефицита на основу електромиографије са постојећим клиничким мерама.
6. Показана је просторна зависност параметара код мерења рефлекса са матричним електродама.
7. Урађена је дисеминација резултата који су презентовани научној јавности у часописима и зборницима са састанака посвећених примени електромиографије за анализу сензорно-моторног дефицита.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада и наведени поступци су у сагласности постављеном циљу дисертације и укључују теоријски и експериментални рад.

3.4. Применљивост остварених резултата

Сви резултати који су представљени у докторској дисертацији имају важну примену у области физиологије и рехабилитације. Увођењем нових сензора и нових метода визуелизације и процесирања у процедуру мерења и анализе евоцираних потенцијала, отворен је пут за нове стандарде и за квалитативно и квантитативно унапређење свих досадашњих истраживања у области физиологије. Са друге стране, нове мере оцене чији је практични значај показан у резултатима који су добијени у мерењима на пацијентима и на здравим испитаницима је од пресудне важности за дијагностику и планирање терапије у области рехабилитације.

Оцена сензорно-моторног система је важна како у рехабилитацији након повреде сензорно-моторног система тако и у дургим научним дисциплинама које се баве електромиографијом. Резултати чији је практични значај показан у домену рехабилитације и физиологије су отворили низ нових питања и задатака за примену представљених решења у спорту и ергономији.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Квалитет рада кандидаткиње, организованост, систематичност и натпросечна мотивисаност коју је показала током израде докторске дисертације су елементи који је квалификују за будући, успешан, самостални и тимски, научно-истраживачки рад. Савременост и оригиналност приказаних резултата показују висок ниво спремности кандидата за компетентно бављење научно-истраживачким радом.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације се огледа у комплетном развоју новог и интегрисаног система који је омогућио објективизацију спонтаних и евоцираних потенцијала у циљу процене сензорно-моторног система на основу електромиографских сигнала.

Доприноси приказани у тези су:

1. Допринос бољем разумевању физиологије сензорно-моторног дефицита на основу мерења електромиографских сигнала.
2. Развој нових модела процеса у сензорно-моторном систему
3. Примена новоуведене мера коконтракције у оцени синергија код сензорно-моторног дефицита у динамичким студијама
4. Употреба матричних електрода нове генерације за проучавање рефлекса
5. Реализација алгоритама за аутоматско одређивање оптималног места за мерење електромиографских сигнала применом матричне електроде
6. Уведени су нови протоколи за мерење електромиографских сигнала са циљем анализе сензорно-моторног дефицита под условима редундантности нервног и мишићног система
7. Развијени су стандарди за примену протокола и инструментације за мерење евоцираних потенцијала
8. Пројектована инструментација је тестирана у клиничком окружењу

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у постављене хипотезе докторске дисертације, циљеве истраживања и добијене резултате, констатујемо да је кандидаткиња успешно одговорила на постављена питања која су од значаја за оцену моторног система применом електромиографије. Новоразвијена инструментација, методе и протоколи, као и добијени експериментални резултати имају значајан научни и стручни допринос у области биомедицинског инжењерства која се бави проучавањем и применом електромиографских сигнала. 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

Резултати досадашњег истраживања су приказани у следећим радове који припадају ужој области дисертације:

Категорија M22:

1. **Miljković N.**, Milovanović I., Dragin A., Konstantinović Lj., Popović D. B.: Muscle synergies with Walkaround® postural support vs. "cane/therapist" assistance, -*Neurorehabilitation*, vol. 33, no. 3, pp. 491-501, 2013 (**IF=1.417**) (DOI: 10.3233/NRE-130982, ISSN: 1053-8135).
2. **Miljković N.**, Malešević N., Kojić V., Bijelić G., Keller T., Popović D. B.: Recording and assessment of evoked potentials with electrode arrays, submitted to *Medical & Biological Engineering & Computing*, October, 2013. (**IF=1.790**).

Категорија M23:

1. Kojović J., **Miljković N.**, Janković M. M., Popović D. B.: Recovery of motor function after stroke: a polymyography-based analysis, *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 194, no. 2, pp. 321-328, 2011. (**IF=2.114**) (DOI: 10.1016/j.jneumeth.2010.10.006, ISSN: 0165-0270).

Kategorija M33:

1. **Miljković N.**, Kojović J., Janković M. M., Popović D. B.: An EMG based system for assessment of recovery of movement, *Proc of 15th IFESS Annual Conference*, pp. 200-202, ISBN: 978-3-900928-09-4, 8-12 Sep., Vienna, Austria (Abstract in *J Artificial Organs*, vol. 34, no. 8, pp. A32), 2010.
2. Veneman J. F., Došen S., **Miljković N.**, Jovičić N., Veg A., Popović D. B., Keller T.: A device for active posture assistance during over ground gait training, *Proc of the 1st International Conference on Applied Bionics and Biomechanics ICABB-2010*, CD, 14-16 Oct., Venice, Italy, 2010.
3. **Miljković N.**, Janković M. M., Popović D. B.: Clustering technique for quantitative assessment of motor function in stroke patients, *Proceedings of the 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering IFMBE MBEC*, 14-18 September, Budapest, Hungary, 2011.
4. Kojić V., **Miljković N.**, Malešević N., Popović D. B.: H-reflex recorded by multi-pad EMG electrodes, *Proc of the 11th symposium in Neural Network Applications in Electrical Engineering*, IEEE Press, pp. 119-122, ISBN: 978-1-4673-1570-8, 20-22 Sep., Belgrade, Serbia, 2012.
5. Popović D. B., Veg A., Dragin A., **Miljković N.**, Đurić-Jovičić M., Konstantinović Lj.: Assisting persons after stroke to restore gait: hybrid system, *Proc of the 1st International Conference on Neurorehabilitation*, ICNR, pp. 209-213, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-642-34545-6, 14-16 Nov., Toledo, Spain, 2012.

Kategorija M34:

1. **Miljković N.**, Jovičić N., Veg A., Popović D. B.: Control of position of center of mass: powered walkaround (abstract), *Proc. of the XVIII Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, ISEK 2010, [CD-ROM], Falla D. and Farina, D. (eds.) Aalborg University. Department of Health Science and Technology, ISBN: 978-87-7094-047-4, 16-19 Jun. , Aalborg, Denmark, 2010.
2. **Miljković N.**, Dragin A., Milovanović I., Schwirtlich L.: Differences in muscle activation patterns when assisted by a cane and Walkaround® in sub-acute stroke patients, *Proceedings of the 18th European Congress of Physical & Rehabilitation Medicine ESPRM*, CD-ROM, 28. May-1 June, Thessaloniki, Greece, 2012.

Kategorija M63:

1. **Miljković N.**, Milovanović I., Kojović J.: Multi-channel EMG for studying motor control, *Proc. 53rd ETRAN Conference*, ISBN 978-86-80509-64-8, CD, 15-18 Jun., Vrnjačka banja, Serbia, 2009.

Kategorija M62:

1. Čobeljić R., Schwirtlich L., Ribarić-Jankes K., **Miljković N.**, Dimitrijević M. R., Popović D. B.: Soleus muscle H-reflex measurements before and after galvanic stimulation of the vestibular apparatus, *2nd Memorial Symposium "Petar Arežina": research in Neural Rehabilitation*, CD, 9. Nov., Belgrade, Serbia, 2012.
2. Ribarić-Jankes K., Čobeljić R., Schwirtlich L., **Miljković N.**, Dimitrijević M. R., Popović D. B.: Clinical neurophysiology of the vestibulospinal modulation (conditioning) of low extremities muscle tone, *2nd Memorial Symposium "Petar Arežina": research in Neural Rehabilitation*, CD, 9. Nov., Belgrade, Serbia, 2012.

3. **Miljković N.**, Schwirtlich L., Ribarić-Jankes K., Čobeljić R., Dimitrijević M. R., Popović D. B.: Instrumentation for detecting and conditioning of the H-reflex, 2nd *Memorial Smposium "Petar Arežina": research in Neural Rehabilitation*, CD, 9. Nov., Belgrade, Serbia, 2012.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње **Надице Миљковић** под насловом **Методе и инструментација за процену активности моторног система на основу електромиографских сигнала** представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос. Дисертација је у сагласности са образложењем у пријави теме и садржи све елементе које предвиђа Правилник о докторским студијама Универзитета у Београду - Електротехничког факултета. У дисертацији је разматран проблем оцене сензорно-моторног система применом електромиографије са циљем унапређења постојеће дијагностике и планирања терапије у рехабилитацији. Комисија потврђује да докторска дисертација има оригиналан и савремен научни допринос у домену рехабилитације и физиологије.

На основу оцењене дисертације, достигнуте способности кандидата за научно-истраживачки рад, остварених научних доприноса, критичке анализе резултата истраживања и верификације научних доприноса, Комисија константује да је Надица Миљковић испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду - Електротехничког факултета. Са задовољством предлажемо Комисији за трећи степен студија на Универзитету у Београду - Електротехнички факултет и Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Електротехнички факултет, да се докторска дисертација под називом **Методе и инструментација за процену активности моторног система на основу електромиографских сигнала** кандидаткиње **Надице Миљковић, 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, 10. новембар 2013

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

др Мирјана Б. Поповић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

др Ласло Швиртлих, редовни професор
Државни Универзитет у Новом Пазару

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

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