

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милице Исаковић

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5012/15-3 од 19.12.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **МИЛИЦЕ ИСАКОВИЋ** под насловом:

**“ГЕНЕРИСАЊЕ ЕКСТЕРОЦЕПЦИЈЕ ПРИ КОРИШЋЕЊУ МИОЕЛЕКТРИЧНЕ ПРОТЕЗЕ ШАКЕ
ПРИМЕНОМ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТИМУЛАЦИЈЕ”**

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

Кандидаткиња Милица Исаковић је школске 2015/2016. године уписала докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Управљање системима и обрада сигнала. Током студија је положила све испите са просечном оценом 10,00 и испунила све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом.

Кандидаткиња је започела истраживачки рад на тему анализе могућности примене електричне стимулације за пренос повратних информација особама које након ампутације користе миоелектричну протезу шаке под руководством проф. др Мирјане Поповић, ментора за студијски истраживачки рад. Тему докторске дисертације под називом “Генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом електричне стимулације” пријавила је Комисији за студије трећег степена 23. маја 2019. године.

Комисија за студије трећег степена је на седници одржаној 02. јула 2019. године разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и упутила Наставно-научном већу предлог Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

Наставно-научно веће је на 842. седници одржаној 09. јула 2019. године, на предлог Комисије за студије трећег степена, именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (одлука бр. 5012/15-1 од 19. јула 2019.) у следећем саставу:

1. др Жељко Ђуровић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
2. др Љубица Константиновић, редовни професор, Медицински факултет у Београду
3. др Марко Барјактаровић, доцент, Електротехнички факултет у Београду
4. др Милица Јанковић, доцент, Електротехнички факултет у Београду

За ментора је предложен др Дејан Б. Поповић, редовни члан САНУ и редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду у пензији.

Јавна усмена одбрана одржана је на Електротехничком факултету дана 02. септембра 2019. године. На одбрани су били присутни сви чланови Комисије. Кандидаткиња је образложила важност и иновативност предложених истраживања и теме докторске дисертације, након чега су чланови Комисије поставили питања из области предложене теме. Кандидаткиња је

успешно одговорила на сва питања Комисије и захвалила се на коментарима и сугестијама. Комисија је одбрану предложене теме докторске дисертације оценила оценом „задовољно“.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој 844. седници одржаној 15. октобра 2019. године усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (одлука бр. 5012/15-2 од 15. октобра 2019.).

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 28. октобра 2019. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације Милице Исаковић под називом “Генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом електричне стимулације” (одлука бр. 61206-4331/2-19 од 28. октобра 2019.).

Кандидаткиња је предала докторску дисертацију на преглед и оцену 22. новембра 2019. године. Комисија за студије трећег степена је на седници одржаној 03. децембра 2019. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој 846. седници одржаној 10. децембра 2019. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (одлука бр. 5012/15-3 од 19. децембра 2019.) у следећем саставу:

1. др Дејан Поповић, редовни члан САНУ
2. др Жељко Ђуровић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
3. др Љубица Константиновић, редовни професор, Медицински факултет у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области Техничке науке – Електротехника и ужој научној области Биомедицинско инжењерство, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Ментор докторске дисертације је академик др Дејан Б. Поповић, редовни професор Електротехничког факултета у пензији. Као редовни члан САНУ, међународно признати професор и истраживач у области биомедицинског и рехабилитационог инжењерства, и аутор великог броја научних радова у истакнутим међународним часописима, проф. Поповић испуњава све формалне и законске услове за ментора ове докторске дисертације. Релевантни радови ментора су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидаткиње.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милица Исаковић је рођена 09. маја 1992. године у Београду. Основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду, смер Електротехника и рачунарство, је уписала 2010. године, а дипломирала 2014. године на модулу Сигнали и Системи са просечном оценом 9,48. Дипломски рад под називом „Анализа главних компоненти електромиографских сигнала за класификацију покрета шаке“ под менторством проф. др Мирјане Поповић је одбранила са оценом 10. Исте године је уписала мастер академске студије на Електротехничком факултету, и положила све испите на модулу Сигнали и Системи са просечном оценом 10,00. Мастер рад под називом „Утицај померања низа мерних електрода на избор обележја и класификацију покрета шаке на бази површинских електромиографских сигнала“ под менторством проф. др Мирјане Поповић је одбранила са оценом 10 у септембру 2015. године. Докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Управљање системима и обрада сигнала је уписала 2015. године и положила све испите са просечном оценом 10,00.

Милица Исаковић је од марта 2016. до децембра 2019. године била ангажована као истраживач приправник на Електротехничком факултету, у оквиру пројекта основних истраживања број 175016 „Ефекти асистивних система у неурорехабилитацији: опоравак

сензорно-моторних функција“ под руководством др Мирјане Поповић, редовног професора у пензији, који финансира Министарства просвете, науке и технолошког развоја Србије. Од јануара 2020. године је запослена као истраживач приправник у Иновационом центру Електротехничког факултета у Београду. Од новембра 2014. године, Милица је ангажована на истраживачким пројектима у фирми *Tecnalia Serbia* из Београда, која је део шпанске фондације *Tecnalia Research & Innovation* из Сан Себастијана, Шпанија. Овај посао је директно везан за њен истраживачки рад и део је Европских истраживања са партнерима у Шпанији, Немачкој, Данској и другима.

Област истраживања Милице Исаковић обухвата обраду биомедицинских сигнала, миоелектричну контролу, рехабилитациону роботiku и примену површинске електричне стимулације у асистивним системима за неурорехабилитацију. Део истраживања приказаног у докторској дисертацији је представила на међународној конференцији *IFESS 2018* одржаној у августу 2018. године у Нотвилу, Швајцарска, и освојила награду *Vodovnik Award* (3. место) за најбоље студентске радове. Досадашњи резултати научно-истраживачког рада су приказани у виду 18 научних публикација – 6 радова у међународним часописима са СЦИ листе (2 као први аутор), 3 рада у националним часописима, 8 радова на међународним конференцијама и 1 рад на националној конференцији. Радови произашли из истраживања спроведених у оквиру рада на докторској дисертацији су наведени у поглављу 4.3. Верификација научних доприноса. Остатак библиографије кандидаткиње обухвата следеће публикације:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M22):

1. J. Malešević, M. Štrbac, **M. Isaković**, V. Kojić, Lj. Konstantinović, A. Vidaković, S. Dedijer, M. Kostić, T. Keller, „Temporal and Spatial Variability of Surface Motor Activation Zones in Hemiplegic Patients During Functional Electrical Stimulation Therapy Sessions“ *Artificial organs* vol. 41, no. 11, pp. E166-E177, 2017. ISSN: 0160-564X, DOI: 10.1111/aor.13057
2. T. Dimkić Tomić, A. Savić, A. Vidaković, S. Rodić, **M. Isaković**, C. Rodriguez-de-Pablo, T. Keller, Lj. Konstantinović, „ArmAssist Robotic System versus Matched Conventional Therapy for Poststroke Upper Limb Rehabilitation: A Randomized Clinical Trial“ *BioMed Research International* vol. 2017, Article ID 7659893, 7 pages, 2017. ISSN: 2314-6133, DOI: 10.1155/2017/7659893

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M23):

1. **M. Isaković**, A. Savić, Lj. Konstantinović, M. Popović, „Validation of computerized square-drawing based evaluation of motor function in patients with stroke“ *Medical Engineering & Physics* vol. 71, pp. 114-120, 2019. DOI: 10.1016/j.medengphy.2019.06.001

Радови објављени у зборницима међународних научних скупова (M33):

1. **M. Isaković**, A. Savić, Lj. Konstantinović, M. Popović, „The Drawing Test as a Tool for Evaluation of Motor Impairment: Correlation with the Wolf Motor Function Test“ *Proc. of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017*, pp. BT11.1.1-BT11.1.5, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017. ISBN:978-86-7466-692-0
2. J. Malešević, M. Štrbac, **M. Isaković**, V. Kojić, Lj. Konstantinović, A. Vidaković, S. Dedijer, M. Kostić, T. Keller, „Evolution of surface motor activation zones in hemiplegic patients during 20 sessions of FES therapy with multi-pad electrodes“, *European Journal of Translational Myology* vol. 26, no 2, pp. 175-180, 2016. ISSN: 2037-7452, DOI: 10.4081/ejtm.2016.6059
3. **M. Isaković**, V. Kojić, M. Janković, A. Savić, „Is the N170 event-related component sensitive to red eye color change in face stimuli?“, *Proc. of 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN*, pp. MEI2.4.1-MEI2.4.5, 13-16. June, 2016., 2016.
4. **M. Isaković**, N. Miljković, M. Štrbac, M. Popović, „Effects of electrode array shift on sEMG-based grasp classification“, *Proc. of 2nd International Conference on Electrical, Electronic, and Computing Engineering IcETRAN*, pp. MEI1.1.1-MEI1.1.4, Srebrno jezero, Serbia, 8-11 Jun, 2015. ISBN: 978-86-7466-618-0

Радови објављени у часописима националног значаја (M53):

1. **M. Isaković**, N. Miljković, M. Popović, „Classifying sEMG-based Hand Movements by Means of Principal Component Analysis“ *Telfor Journal* vol. 7, no. 1, pp. 26-30, 2015. ISSN: 1821-3251, DOI: 10.5937/telfor15010261

Радови објављени у зборницима научних скупова националног значаја (M64):

1. M. Isaković, N. Miljković, M. Štrbac, M. Popović, „Classification of sEMG-based hand movements is affected by electrode array positioning“, *Proc of the 2nd Conference on Human-Machine Interface from Student-to-Student Interface*, Academic Mind, University of Belgrade - School of Electrical Engineering, ISBN: 978-86-7466-542-8, Belgrade, Serbia, 20 Mar, 2015.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом “Генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом електричне стимулације” је написана на српском језику на 126 страна (131 страна са прилозима) куцаног текста латиничним писмом и садржи 46 слика, 11 табела и 192 референце наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Текст дисертације је организован у следећих шест поглавља:

1. Увод
2. Развој система за вишеканалну сензорску електричну стимулацију
3. Управљање миоелектричном протезом у затвореној спрези
4. Динамичке стимулационе поруке
5. Калибрација система за вишеканалну сензорску стимулацију
6. Закључак

На почетку дисертације су дати: насловна страна на српском и енглеском језику, подаци о ментору и члановима комисије, захвалница, резиме дисертације на српском и енглеском језику, списак слика, списак табела, садржај, структура тезе и хипотезе. Након последњег поглавља су приказани списак референци, биографија кандидата и три прилога – изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу су представљени кратак историјат и тренутно стање у области протетике и миоелектричне контроле горњих екстремитета. Дат је преглед инвазивних и неинвазивних техника за пренос повратних информација са протезе до корисника. Описани су основни принципи, захтеви, предности и ограничења електричне стимулације као средства за пренос информација. Истакнути су предмет, циљ и значај приказаних истраживања.

Друго поглавље је посвећено развоју система за пренос повратних информација са миоелектричне протезе шаке применом вишеканалне електричне стимулације подлактице. Описне су компоненте система – електрични стимулатор, површинске матричне електроде и пратеће софтверске апликације, њихов дизајн, развој и начин на који су тестиране. Приказани су резултати испитивања просторне и фреквенцијске резолуције два типа површинских матричних електрода и могућности препознавања овако кодираних информација, у коме је учествовало десет здравих добровољаца.

У трећем поглављу су приказани резултати испитивања краткорочних и дугорочних ефеката управљања силом хвата миоелектричне протезе шаке у затвореној спрези. Описани су технички аспекти повезивања развијеног система за вишеканалну електричну стимулацију са системом за управљање комерцијалном миоелектричном протезом и реализације управљања протезом у реалном времену. Приказани су експериментални протоколи за испитивање контроле силе хвата миоелектричне протезе шаке у отвореној и затвореној спрези, и резултати клиничких студија у којима су учествовали испитаници после трансрадијалне ампутације (једнодневна пилот студија са три испитаника и петодневна лонгитудинална студија са девет испитаника).

Четврто поглавље је посвећено развоју и тестирању динамичких порука за интуитивни пренос информација са протезе до корисника путем површинске електричне стимулације подлактице. Описан је дизајн хеуристичких стимулационих порука које одговарају променама стања миоелектричних протеза са више степени слободе (отварање и затварање шаке, пораст и смањење силе хвата, флексија и екстензија ручног зглоба, пронација и супинација ручног зглоба), заснован на истовременој промени фреквенције електричне стимулације и активног поља на матричној електроди. Приказани су резултати психометријских тестова препознавања порука код здравих добровољаца и испитаника са ампутацијом шаке. Концепт динамичких стимулационих порука је примењен за затварање повратне спреге при управљању виртуелном протезом шаке и за развој система за самостално учење проприоцептивних порука заснованог на бежичној сензорској рукавици за снимање кинематике покрета шаке.

У петом поглављу је описан развој процедуре за полуаутоматску калибрацију амплитуда вишеканалне електричне стимулације. На основу резултата студије са девет здравих испитаника је детаљно испитан поступак калибрације применом стандардне процедуре, који је затим поједностављен адаптацијом почетних вредности у оквиру калибрационог алгорита. Развијена је нова метода за калибрацију вишеканалног система за сензорску супституцију применом електричне стимулације.

У завршном шестом поглављу је приказан преглед постигнутих резултата, кључних доприноса и изведених закључака. Дати су одговори на научна питања постављена у овој дисертацији и препоруке за даљи истраживачки рад.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Крај XX и почетак XXI века су период у којем развој информационо-комуникационих технологија и нових материјала омогућава да технички системи постану еквиваленти природним, тј. биолошким системима. У поднетој докторској дисертацији Милице Исаковић је приказана оригинална метода како да, користећи резултате из неуронаука, доступна технологија омогући да вештачку вишепрсту шаку пацијент почиње да осећа као свој део тела. Ова интеграција је базирана на примени сензора који су интегрисани у вештачку шаку, а сигнали са тих сензора долазе до централног нервног система пацијента у облику кодиране електричне стимулације сензорских рецептора коже на подлактици. Истовремено, пацијент активира поједине функције вештачке руке вољним контракцијама мишића у истој подлактици на страни ампутације. На овај начин су створени услови за коришћење протезе као сопствене руке на подсвесном нивоу. У истраживању је психометријским тестовима показано да примена вештачке сензорне стимулације доводи до кортикалних промена (учење) и да на тај начин хватање, држање предмета и отварање вештачке шаке постану еквивалент коришћењу сопствене шаке пре ампутације. При овоме неопходно је применити и друге облике повратне спреге који су од значаја за појачано и убрзано учење моторике (покрета). Теза се односи на решавање проблема који је данас веома актуелан у свету. У тези су приказани оригинални резултати кандидаткиње које је она дисеминирала кроз радове у часописима и презентације на конференцијама.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Милица Исаковић је наводећи општу литературу из области рехабилитационе медицине и инжењерства коју је користила за припрему тезе и свој истраживачки рад показала да је упозната са историјом развоја вештачких руку и развоја управљачких метода. Истовремено, листа научних радова објављених последњих година показује да се ради о веома актуелном

научном проблему, али и зрелости кандидаткиње да истакне најзначајније резултате и да на основу њих фокусира поједине тестове на оптималан начин. Листа које укључује 192 наслова није редувантна, а свакако је довољна да би заинтересовани могли да нађу друге важне релевантне чињенице.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Милица Исаковић је у докторској дисертацији доказала примењивост електричне стимулације за генерисање сензорних информација у систему за управљање миоелектричном протезом шаке. Докторска дисертација укључује приказ модерних технолошких и инжењерских техника за решавање сложених мултидисциплинарних проблема. У докторској тези је приказан метод преноса информација високе резолуције за генерисање сигнала који управљају вишеканалном електричном стимулацијом. У тези је показано да је могуће да корисник миоелектричне протезе на подсвесном нивоу развије нову проприоцепцију и екстероцепцију, а то је омогућено модулацијом више параметара електричне стимулације и применом нових вишеконтатних електрода на површини коже.

Овај резултат се може описати као генерисање новог облика перцепције на бази сензорне кодиране стимулације електродама на кожи. Ово је научно и технолошки значајно унапређење у односу на све системе који су примењени на конвенционалне миоелектричне протезе шаке. Ово унапређење директно унапређује интеграцију пацијента у радни и социјални живот, па самим тим поправља квалитет живота пацијената после трансрадијалне ампутације. Вероватно је најважнији ефекат што ново решење интегрише нову перцепцију у преостали део централног нервног система на подсвесном нивоу, па тиме вештачка рука у великој мери постаје део тела пацијента. Важан резултат који је описан у докторској тези је и потенцијална примена развијеног система за смањење ефекта који се назива фантомски бол, и то значајно унапређује квалитета живота.

3.4. Примењивост остварених резултата

Сви резултати су, с обзиром на клиничка испитивања и комуникацију са потенцијалним произвођачима протеза, на нивоу који омогућује директан пренос у развој који ће постати значајна иновација и производ на тржишту.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је положила све испите на студијама са одличним оценама. Милица је положила докторски испит 02. септембра 2019. године пред комисијом коју је одредило Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду у саставу: др Жељко Ђуровић, редовни професор Електротехничког факултета БУ, др Љубица Константиновић, редовни професор Медицинског факултета БУ, др Марко Барјактаревић, доцент на Електротехничком факултету БУ и др Милица Јанковић, доцент на Електротехничком факултету БУ.

Кандидаткиња је аутор/коаутор на шест радова у часописима са SCI листе (на два рада је први аутор) и на осам радова (на седам радова је први аутор) на међународним конференцијама. Ове публикације показују да је у стању да своје резултате прикаже научној заједници на оптималан начин.

Кандидаткиња је у пуној мери савладала начин припреме и пројектовања експеримената и обраде резултата добијених у мерењима. Учествовала је и савладала технику припреме клиничких студија која укључује и припрему етичке документације. Показала је оригиналност у научном раду, одлично познавање релевантне литературе и одличну комуникацију са експертима у окружењу у којем су истраживања спроведена.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултат истраживања представљених у овој докторској дисертацији је систем за генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом површинске вишеканалне електричне стимулације. Основни доприноси овог истраживања обухватају:

- ✓ боље разумевање утицаја који биолошка повратна спрега има на контролу вештачке шаке чији управљачки сигнали долазе са преосталих мишића после ампутације (миоелектрична протеза),
- ✓ детаљан увид у процес калибрације система за сензорску супституцију при примени вишеканалне електричне стимулације и нове флексибилне електроде на кожи, и
- ✓ пројектовање јединственог сета хеуристичких стимулационих порука за пренос информација о стању миоелектричне протезе шаке са више степени слободе.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У тези је приказан потпуно оригиналан програмабилан систем за вишеканалну електричну стимулацију аферентних нерава преко флексибилне површинске електроде са шеснаест проводних поља која се на једноставан начин поставља око подлактице особе после ампутације. Кроз психометријске тестове на здравим испитаницима је испитана фреквенцијска и просторна резолуција након кратког обучавања, а показано је и да се уз одговарајуће обучавање добија пуна просторна резолуција развијеног интерфејса.

У тези је показано јасно и прегледно показано да побољшање функције контроле хватања вештачке шаке коришћењем површинских електричних сигнала који су корелисани са јачином стиска при хватању. Овај резултат директно унапређује ефекте коришћења миоелектричне протезе, па тиме представља и унапређење квалитета живота. Не постоје у литератури упоредљиви резултати с резултатима приказаним у овој тези.

У тези је приказан развој новог оригиналног система који имплементира сет динамичких стимулационих порука које одговарају стањима мултифункционалне протезе шаке. Поруке су засноване на просторној и фреквенцијској модулацији електричне стимулације, а пројектоване су да буду интуитивне и да омогуће пренос информација о различитим стањима процеса хватања. Психометријски тестови на здравим добровољцима и пацијентима са трансрадијалном ампутацијом су доказали да су поруке интуитивне и једноставне за разумевање и тумачење.

Концепт је оригинално примењен за затварање повратне спреге при контроли виртуалне шаке. Развијен је и оригинални систем заснован на бежичној сензорској рукавици за снимање кинематике покрета шаке који омогућава самостално учење стимулационих порука. Основна новина у односу на друге идеје су да кодирање захтева да стимулација на свим пољима матричне електроде производи осећаје једнаког интензитета. Ово је довело да развоја оригиналне полуаутоматске процедуре за калибрацију амплитуда електричне стимулације.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације верификовани су у следећим радовима:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M21):

1. M. Štrbac, M. Isaković, M. Belić, I. Popović, I. Simanić, D. Farina, T. Keller, S. Došen, „Short- and Long-Term Learning of Feedforward Control of a Myoelectric Prosthesis with Sensory

Feedback by Amputees“ *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* vol. 25, no. 11, pp. 2133-2145, 2017. ISSN: 1534-4320, DOI: 10.1109/TNSRE.2017.2712287 (M21a)

2. M. Štrbac, M. Belić, **M. Isaković**, V. Kojić, G. Bijelić, I. Popović, M. Radotić, S. Došen, M. Marković, D. Farina, T. Keller, „Integrated and flexible multichannel interface for electrotactile stimulation“, *Journal of Neural Engineering*, IOP Publishing, vol. 046014, no. 13, pp. 1-16, 2016. ISSN: 1741-2560, DOI: 10.1088/1741-2560/13/4/046014 (M21)

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M23):

1. **M. Isaković**, J. Malešević, T. Keller, M. Kostić, M. Štrbac, „Optimization of semi-automated calibration algorithm of multichannel electrotactile feedback for myoelectric hand prosthesis“ *Applied Bionics and Biomechanics* vol. 2019, Article ID 9298758, 9 pages, 2019. ISSN: 1176-2322, DOI: 10.1155/2019/9298758

Радови објављени у зборницима међународних научних скупова (M33):

1. **M. Isaković**, M. Štrbac, J. Malešević, T. Keller, (2018, August). „Closed-loop Proprioception Training System Based on Wireless Hand Kinematics Sensor and Electrotactile Stimulation“ *Proc. of 22nd Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society (IFESS)*, pp. 140-143, Nottwil, Switzerland, August 28-31, 2018.
2. **M. Isaković**, M. Štrbac, M. Belić, T. Keller, S. Došen, „Proprioceptive feedback via dynamic stimulation patterns in closed-loop control of multi-DOF virtual prosthesis“ *Proc. of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017*, pp. BTI2.2.1-BTI2.2.5, Kladovo, Serbia, June 5–8, 2017. ISBN:978-86-7466-692-0
3. **M. Isaković**, M. Štrbac, M. Belić, G. Bijelić, I. Popović, M. Radotić, S. Došen, D. Farina, T. Keller, „Dynamic Stimulation Patterns for Conveying Proprioceptive Information from Multi-DOF Prosthesis“, *In book: Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation II*, Springer, Cham, pp. 601 - 605, 2017. (Proc. of 3rd International Conference on NeuroRehabilitation, Segovia, Spain, Oct 18-21 2016.) DOI: 10.1007/978-3-319-46669-9_99, ISBN: 978-3-319-46668-2
4. **M. Isaković**, M. Belić, M. Štrbac, I. Popović, S. Došen, D. Farina, T. Keller, „Electrotactile feedback improves performance and facilitates learning in the routine grasping task“, *European Journal of Translational Myology* vol. 26, no 3, pp. 197-202, 2016. ISSN: 2037-7452, DOI: 10.4081/ejtm.2016.6069

Радови у објављени у часописима националног значаја (M53):

1. I. Popović, **M. Isaković**, I. Simanić, M. Štrbac, B. Grujičić, „Površinska električna stimulacija kao povratna informacija sa podlaktatne mioelektrične proteze za pospešivanje kontrole snage hvata“, *Balneoclimatologia*, vol. 40, no. 2, pp. 195-199, 2016. ISSN: 0350/5952
2. I. Popović, **M. Isaković**, V. Živković, M. Štrbac, M. Radotić, G. Bijelić, „Senzorna supstitucija funkcionalnom električnom stimulacijom kod pacijenata sa transradijalnom amputacijom“, *Balneoclimatologia*, vol. 39, no. 2, pp. 376-380, 2015. ISSN: 0350/5952

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација коју смо прегледали показује потпуну научну зрелост кандидаткиње Милице Исаковић. У тези су прецизно, али истовремено и концизно и јасно приказани резултати вишегодишњег истраживања који укључују доприносе базичним разумевањима процеса ресторације покрета код особа после трансрадијалне ампутације, могућности интеграције вештачких и природних система коришћењем природних командних сигнала (миоелектрична контрола) и електричном стимулацијом сензорних путева преко вишеконтатних електрода. Целовитост истраживања је потврђена у клиничким испитивањима која су разматрала и когнитивно-психолошке елементе од значаја за

прихватање протезе као дела тела. Основни доприноси су од значаја за: 1) боље разумевање утицаја који биолошка повратна спрега има на контролу вештачке шаке чији управљачки сигнали долазе са преосталих мишића после ампутације (миоелектрична протеза); 2) детаљан увид у процес калибрације система за сензорску супституцију при примени вишеканалне електричне стимулације и нове флексибилне електроде на кожи; и 3) пројектовање јединственог сета хеуристичких стимулационих порука за пренос информација о стању миоелектричне протезе шаке са више степени слободе.

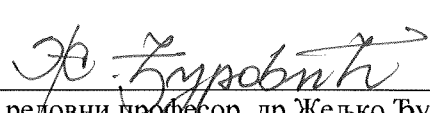
Низ резултата који су основа ове тезе је приказан у научним радовима у часописима у којима постоји анонимна рецензија бар два експерта. Радови су, као што се то и очекује у мултидисциплинарним истраживањима са неколико аутора, али је Милица Исаковић на више него довољном броју радова први аутор. Теза је према правилима која сада постоје на Универзитету у Београду контролисана и софтверски проверена, и није установљен плагијаризам. Комисија сматра да је теза оригиналан научни допринос који би према правилима који важе на препознатим светским универзитетима задовољио критеријуме да буде прихваћен као докторска дисертација.

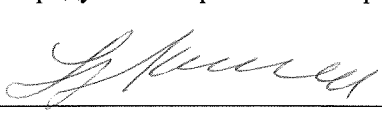
Кандидаткиња је положила све испите и задовољила све услове за стицање доктората на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

На основу свих претходних чињеница и директног праћења рада кандидаткиње доле потписана Комисија са великим задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом **“Генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом електричне стимулације”** кандидаткиње **Милице Исаковић** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


Академик САНУ, редовни професор у пензији, др Дејан Поповић
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


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


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

У Београду, 10. јануара 2020. године