

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Иване Миловановић

Одлуком ННВ Електротехничког факултета од 12.03.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Иване Миловановић под насловом

„Синергије хода особа после можданог удара: импликације за управљање асистивним системима на бази 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 Ивана Миловановић је на докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписана марта 2008. године. Пријаву докторске дисертације под насловом „Синергије хода особа после можданог удара: импликације за управљање асистивним системима на бази електричне стимулације“ је поднела 21.05.2012. године. На седници Комисије за трећи степен студија Електротехничког факултета Универзитета у Београду (у даљем тексту ЕТФ) одржаној 28.08.2012. године, је констатовано да је Ивана Миловановић пријавила докторску дисертацију под наведеним насловом, и у складу са Правилником о докторским студијама ЕТФ, Наставно-научном већу ЕТФ је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Дејан Поповић, ред.проф. (ЕТФ), др Мирјана Поповић, ред.проф. (ЕТФ) и др Љубица Константиновић, ванр.проф. (Медицински факултет, Универзитета у Београду). За ментора дисертације је предложен др Дејан Поповић. На 752. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 04.09.2012. године, прихваћен је предлог Комисије за трећи степен студија и потврђена је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме као и предложени ментор. На основу извештаја Комисије и пратеће документације докторске дисертације предложена тема је прихваћена на 756. седници Наставно-научног већа ЕТФ, одржаној 27.11.2012. године, а 24.12.2012. године од стране Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Кандидаткиња је урађену дисертацију поднела на преглед и оцену 05.03.2013. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је 12.03.2013. године, именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Дејан Поповић, ред.проф. (ЕТФ), др Мирјана Поповић, ред.проф. (ЕТФ), др Ласло Швиртлих, ред проф (Универзитет у Новом Пазару), др Љубица Константиновић, ванр. проф (Медицински факултет, Универзитета у Београду) и др Бранко Коавчевић, ред. проф (ЕТФ).

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области „Техничке науке – електротехника“, а у ужем смислу области „Биомедицинско инжењерство“. За ментора докторске дисертације је одређен др Дејан Поповић, редовни професор Електротехничког факултета, Универзитета у Београду, због истакнутих доприноса из области рехабилитационог инжењерства и моторне контроле.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ивана Миловановић је рођена у Панчеву 1983. године. Гимназију „Урош Предић“ у Панчеву завршила је 2002. године, а дипломирала је на петогодишњем програму на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2007. године на смеру Нуклеарна и медицинска техника. Тема дипломског рада је „Развој DC/DC конвертора за мишићни стимулатор“, под руководством проф. др Дејана Поповића.

Кандидаткиња је од марта 2008. године била запослена на Електротехничком факултету Универзитета у Београду као сарадник на пројекту. Исте године је Ивана уписала докторске студије на смеру Управљање системима и обрада сигнала на коме је са одличним успехом положила све испите и завршила све обавезе.

У свом досадашњем раду, дипл. инж. Ивана Миловановић је самостално или у сарадњи са другим ауторима објавила 1 рад у међународном часопису, 1 рад у домаћем часопису, 5 радова на међународним конференцијама и 7 радова на конференцијама националног значаја. У току је рецензија једног рада у часопису, и у завршној фази је рад који ће бити поднет за публикавање у часопису.

Поред тога, учествовала је у реализацији пројекта технолошког развоја МНТР Републике Србије (ЕТ11019, МНТР, „Електронски систем за управљање покретима особа са инвалидитетом“, руководилац пројекта: проф. др Дејан Поповић). Ивана је у оквиру сарадње Факултета са предузећем Фатроник Србија (сада *Technalia Serbia*, Београд) допринела развоју система за аквизицију хода, и то у домену унапређења мерног система.

Научноистраживачки рад Иване Миловановић у оквиру докторских студија је био усмерен на следеће области: биомедицинско инжењерство, медицинску инструментацију, рехабилитацију покрета, клиничко инжењерство, моторну контролу и биомеханику.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на 172 стране, организована је у 7 поглавља, има 5 прилога, 37 слика, 4 табеле и листу од 252 референце. Наслови поглавља су: 1) Увод, 2) Технике управљања функционалном електричном стимулацијом, 3) Сензори за процену кретања погодни за примене у рехабилитацији хода, 4)

Анализа кинематичких параметара хода, 5) Анализа електромиографских параметара хода, 6) Закључак и 7) Предлог за будућа истраживања.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводу је укратко описана етиологија, патогенеза и патологија можданог удара. Наведене су манифестације повреде у поремећајима хода, у виду темпоралних, кинематичких и динамичких карактеристика као и карактеристика мишићног система. Уведен је појам синергије. Дат је преглед техника и терапија које се користе у рехабилитацији хода након можданог удара са посебним освртом на примену функционалне електричне стимулације (ФЕС) за ресторацију хода. Указано је на предности и недостатке ове асистивне технологије.

У другом поглављу је дат преглед метода за управљање функционалном електричном стимулацијом. Приказане су различите примене техника машинског учења у рехабилитацији хода, уз детаљнији приказ примене у оквиру система електричне стимулације. Предложен је метод синергистичке контроле који се може користити за управљање системом вишеканалне електричне стимулације, а који подразумева мапирање сигнала прикупљених са сензора током хода на одговарајуће мишићне активности мишића који покрећу зглобове колена и чланка. Упоредене су две технике машинског учења са особиним предикције временских серија и сумиране су њихове предности и недостаци.

У трећем поглављу су описани оригинални сензорски системи који су коришћени у клиничним испитивањима евалуације хода и за управљање системима електричне стимулације. Дат је преглед коришћених компоненти сензора, као и детаљан опис сензора силе развијеног у оквиру Лабораторије за биомедицинско инжењерство. Приказане су студије у оквиру којих је извршена евалуација унапређеног сензора, поређењем са конвенционалним сензорима силе и системом GaitRite. Дат је упоредни преглед параметара хода и изведени су закључци о могућим применама система, о његовим предностима у односу на друге системе, и недостацима.

Четврто поглавље приказује кинематичку анализу хода након можданог удара, у оквиру које су упоређене уобичајено коришћене клиничке мере опоравка са примењеном стохастичком методом. Акценат је стављен на моторне дефиците и компензационе кинематичке синергије. Анализирани су подаци са пацијената у акутној и хроничној фази хемиплегије. Показана је примена статистичке методе – анализе принципијелних компоненти (РСА), за идентификацију механизма нервног система који резултују девијацијама хода. Наведене су предности развијене технике у односу на конвенционалне мере, као и значај овакве анализе за реализацију програма ресторације хода прилагођеног индивидуалним потребама пацијента.

У петом поглављу је приказана полимиографска анализа као метод за одређивање мишићних активација при ходу пацијената са хемиплегијом. Упоредене су синергије мишићних активација приликом хода пацијената са два различита асистивна средства (штап и моторизована ходалица). Анализа је извршена поређењем мишићних синергија пацијената са синергијама здравих испитаника и идентификовани су карактеристични дефицити. Изведени су закључци везани за примену ЕМГ сигнала за управљање функционалном електричном стимулацијом и за процену квалитета хода и рехабилитационих ефеката.

У шестом поглављу је приказан збирни преглед постигнутих резултата и изведених закључака.

У седмом поглављу дате су препоруке за будући рад.

У прилогу су описане: фазе хода, принцип рада сензора силе, преглед система за мерење притиска и силе у виду улошка за ципелу, метод анализе принципијелних компоненти и мишићне синергије доњих екстремитета.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Проблематика дисертације се односи на изузетно актуелну област рехабилитације хода, сложеног процеса оспособљавања за самосталан живот и рад. Ресторација хода електричном стимулацијом представља истраживачку област којој се већ деценијама посвећује доста пажње. Истраживачки рад у овој области обухвата различите популације, циљеве и приступе. Показано је да системи електричне стимулације за корекцију хода позитивно утичу на брзину хода и повећање мишићне снаге. Такође, у рехабилитационом поступку, процена квалитета хода и ефикасности терапије је изузетно важна. Она омогућава усмеравање терапије и њено прилагођавање индивидуалним потребама пацијента.

Оригиналност дисертације се огледа у свеобухватном сагледавању постављеног проблема и реализацији методе објективног праћења карактеристика хода (кинематике и динамике) и карактеристика мишићне активности при ходу у клиничким условима. Према доступној научној литератури, нико није третирао наведене проблеме на начин на који је то урађено у дисертацији Иване Миловановић, из чега следи да су приступ проблематици и добијени резултати оригинални.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији садржи најновије радове релевантне за проблематику дисертације, али садржи и класичне радове, као и одговарајуће књиге. Број библиографских јединица наведених на крају дисертације указује на кандидаткињин широк и темељан увид у научну област третирану у дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање у оквиру предложене докторске дисертације је обухватило следеће фазе:

- 1) Анализу постојећих метода управљања вишеканалном електричном стимулацијом за рехабилитацију хода и њихових ограничења,
- 2) Снимање карактеристика хода на здравим испитаницима ради формирања модела здравог обрасца хода (benchmark),
- 3) Карактерисање хода пацијената након можданог удара користећи инерцијалне сензоре, сензоре силе (реакције подлоге) и записе мишићних активности (ЕМГ),
- 4) Анализу хода на основу уобичајено коришћених параметара хода (брзина, симетрија, трајање једноослоначке и двоослоначке фазе, итд.),
- 5) Анализу хода применом стохастичких метода (нпр., Principal Component Analysis - PCA),
- 6) Анализу хода на бази електромиографских сигнала,
- 7) Испитивање могућности формирања индивидуалног модела хода који карактерише потенцијалног корисника система.

Наведени поступци у основи припадају теоријским и експерименталним истраживањима, и у потпуности одговарају проблему и постављеном циљу дисертације.

За потребе реализације свог докторског рада кандидаткиња је остварила контакте на Клиници за рехабилитацију „др Мирослав Зотовић“, где је реализовала и руководила мерењима са пацијентима.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у дисертацији и њихова експериментална верификација, имају директну применљивост у рехабилитацији пацијената након можданог удара, за оцену опоравка и унапређење система функционалне електричне стимулације. Предложена решења омогућавају синтезу модела који, имплементацијом у систем функционалне електричне стимулације у виду оптимизоване индивидуалне базе знања, може допринети ефикаснијој аутоматској контроли асистивних система на бази ФЕС-а и њиховој широј употреби. Модел омогућава идентификацију дефицита контроле управљања и мишићног одговора на основу којих се рехабилитациони поступак може усмерити ка индивидуалним потребама пацијента што доприноси ефикасности терапије.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је током израде ове докторске дисертације показала да је у стању да самостално решава проблеме и да успешно влада савременим научним сазнањима и методама. Такође, кандидаткиња је испољила захтевану научну зрелост и оспособљена је за даљи успешан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру предложене докторске дисертације истичемо следеће научне доприносе:

- Урађена је анализа и поређење техника машинског учења за формирање базе знања
- Унапређен је сензорски систем за процену силе реакције подлоге при ходу
- Развијена је метода за праћење опоравка пацијената након можданог удара на основу кинематичких сензора
- Развијена је метода за анализу мишићних синергија

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у постављене хипотезе, циљеве истраживања и добијене резултате, констатовали смо да је кандидаткиња успешно одговорила на суштинска питања која су од значаја за решење проблема који јој је постављен. Развијене методе и урађене анализе, као и добијена експериментална решења представљају значајан научни и стручни допринос у области асистивних технологија у оквиру рехабилитационог инжењерства. Резултати имају теоријски значај и практичну вредност. Увидом у приложену литературу као и публиковани рад у часопису *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, констатујемо да се истраживањима у овој дисертацији дошло до нових резултата који до сада нису били публиковани.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња Ивана Миловановић је до сада објавила следеће радове који припадају ужој области дисертације:

Категорија M23:

1. **I. Milovanović**, D.B. Popović, „Principal Component Analysis of gait kinematics data in acute and chronic stroke patients.“, *Comput Math Methods Med*, vol. 2012, Article ID 649743, 8 pages, 2012. (IF=0.684) (DOI: 10.1155/2012/649743).
2. N. Miljković, **I. Milovanović**, A. Dragin, Lj. Konstantinović, D.B. Popović, „Muscle synergies with Walkaround postural support vs. „cane/therapist“ assistance“ (J NeuroRehabilitation). Рад у процесу после рецензије (*minor revision*) (M21):

Категорија M33:

1. **I. Milovanović**, D. B. Popović, „Mapping of sensory representation of walking and EMG of prime joint movers: control of functional electrical stimulation.“ In: 10th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering, NEUREL 2010, 23-25 September 2010, Belgrade, Serbia, pp. 7-10, ISBN: 978-1-4244-8821-6 DOI: [10.1109/NEUREL.2010.5644042](https://doi.org/10.1109/NEUREL.2010.5644042)
2. **I. Milovanović**, M. Đurić-Jovičić, „Polymyography during hemiplegic walking: Implications for control of FES. In: IFESS 2010 Conference, Sep 8- Sep 12, Vienna, Austria, pp. 203-205, printed as abstract in *Artificial Organs* 34(8), 2010, A35, DOI: 10.1111/j.1525-1594.2010.01075.x

Категорија M64:

- 1) **I. Milovanović**, N. Malesević, and D. B. Popović, "Evaluacija sistema za merenje sile reakcije podloge," In: Proc of the 52nd ETRAN Conference, 8-12 June 2008, Palic, Serbia, ISBN: 978-86-80509-63-1.
- 2) M. Djurić-Jovičić, **I. Milovanović**, N. Jovičić, S. Radovanović, „Gait analysis: BUDA vs. GaitRite“, In: Proc of the 53rd ETRAN Conference, 15-18 June 2009, Vrnjacka Banja, Serbia, ISBN: 978-86-80509-64-8.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње Иване Миловановић под насловом „Синергије хода особа после можданог удара: импликације за управљање асистивним системима на бази електричне стимулације“ је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све битне елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. У дисертацији се разматра проблем анализе кинематичких и мишићних синергија ради унапређења асистивних система на бази функционалне електричне стимулације и процене опоравка пацијената након можданог удара. Комисија констатује да докторска дисертација садржи оригиналан и савремен научни допринос у домену асистивних технологија у области рехабилитационог инжењерства.

Оцењујући докторску дисертацију, као и чињеницу да је анализирана проблематика веома актуелна и савремена са аспекта научног и стручног

доприноса, верификована објављивањем у релевантном часопису са *SCI* листе, Комисија констатује да је кандидаткиња Ивана Миловановић испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Предлажемо Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом „Синергије хода особа после можданог удара: импликације за управљање асистивним системима на бази електричне стимулације“ кандидаткиње Иване Миловановић прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Дејан Поповић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду, дописни члан САНУ

.....
др Мирјана Поповић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

.....
др Ласло Швиртлих, редовни професор
Универзитет у Новом Пазару

.....
др Љубица Константиновић, ванредни професор
Медицински факултет Универзитета у Београду

.....
др Бранко Ковачевић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду