

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ненада Јовичића

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 2219/2 од 16.4.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ненада Јовичића под насловом

Дистрибуирани систем за функционалну електричну стимулацију

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

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Ненад Јовичић магистарске студије је завршио на Електротехничком факултету 15.7.2008. године. Пријаву докторске дисертације под насловом „Дистрибуирани систем за функционалну електричну стимулацију“ је поднео 30.8.2012. године. На седници Комисије за трећи степен студија Електротехничког факултета у Београду (у даљем тексту ЕТФ) одржаној 30.8.2012. године, је констатовано да је Ненад Јовичић пријавио 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 Лазар Сарановац, доцент (ЕТФ), др Дејан Поповић, ред. проф. (ЕТФ) и др Љубица Константиновић, ванр. проф. (Универзитет у Београду - Медицински факултет). За ментора дисертације је предложен др Лазар Сарановац. На 752. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 4.9.2012. 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 754. седници Наставно-научног већа ЕТФ, одржаној 23.10.2012. године, а 24.12.2012. године од стране Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду. Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 4.4.2013. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је 16.4.2013. године, именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Лазар Сарановац, ванр. проф. (ЕТФ), др Дејан Поповић, ред. проф. (ЕТФ), др Љубица Константиновић, ванр. проф. (Универзитет у Београду - Медицински факултет), др Вујо Дрндаревић, ред. проф. (ЕТФ) и др Иван Поповић, доц. (ЕТФ).

1.2. Научна област дисертације

Дисертација обухвата развој и имплементацију нове архитектуре наменског рачунарског система намењеног за употребу у медицини, конкретније у електричној стимулацији. Са тим у виду дисертација припада у ширем смислу научној области „Техничке науке – електротехника“, а у ужем смислу области „Електроника“. За ментора докторске дисертације је одређен др Лазар Сарановац, ванредни професор Електротехничког факултета у Београду, због истакнутих доприноса из области електронике.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ненад Јовичић је рођен у Бијељини, Босна и Херцеговина, 17. Фебруара 1977. године, где је завршио основну школу и два разреда гимназије природно-математичког смера. Након пресељења у Београд 1993. године школовање наставља у Четвртој београдској гимназији коју завршава 1995. године са одличним успехом.

На Електротехничком факултету, Универзитета у Београду, дипломирао је 2001. године, на смеру Електроника са средњом оцена током студија 8.52. Дипломски рад са темом „Микроконтролерски управљан позициони контролер“ код ментора проф. Др Дејана Живковића успешно је одбранио са оценом 10.

У оквиру магистарских студија на Електротехничком факултету у Београду је положио шест стручних предмета из области електронике, и 2008. године одбранио магистарску тезу под насловом „Систем за аутоматско препознавање и одстрањивање неправилности површинске структуре дрвета“, из области електронике, код ментора проф. Др Миодрага Поповића.

Након дипломирања кандидат се запослио као сарадник на Електротехничком факултету у звању асистента приправника, а након магистрирања кандидат је унапређен у звање асистента и у том звању се налази и данас.

Кандидат је учествовао на три Иновациона пројекта и једном Пројекту технолошког развоја финансираним од стране Министарства науке Републике Србије. На два Иновациона пројекта кандидат је био руководиоца. Кандидат је учествовао на међународном истраживачком пројекту са шпанским институтом *Tecnalia, San Sebastian*.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на 148 страна, организована је у 7 поглавља, има 2 прилога, 60 слика, 5 табела и листу од 144 референце. Наслови поглавља су: 1) Увод, 2) Преглед стања, 3) Архитектура система, 4) Бежична комуникација, 5) Реализација, 6) Примена и 7) Закључак и предлог за будућа истраживања.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу дате су основне информације о електричној стимулацији и њеном историјском развоју. Критичким освртом на садашње стање указано је на потребу усвајања нових стратегија управљања. Увођењем појма биомиметичког пресликавања представљена је идеја на којој се заснива архитектура која је предмет ове тезе.

У другом поглављу је дат преглед сензорских, стимулационих и контролних технологија које се користе у системима за електричну стимулацију. Анализирана је употреба затворене повратне спреге кроз коришћење различитих сензорских система. Кроз анализу кашњења које поседују биолошки системи затворене спреге дефинисани су минимални временски захтеви за систем електричне стимулације. Описане су техничке карактеристике стимулатора са становишта основних типова стимулације, карактеристика стимулационих сигнала и начина генерисања секвенци стимулације. Анализирани су контролни алгоритми који су данас прихваћени, и дата је процена које технологије ће постати доминантне у будућности. Дат је преглед постојећих централизованих и дистрибуираних система за функционалну електричну стимулацију који се користе у комерцијалним и истраживачким апликацијама. За свако решење су описане основне карактеристике, и дат је осврт на коришћење сензорских технологија. На крају овог прегледа резимирано је постојеће стање и дефинисани су општи технички захтеви које једна функционална архитектура за електричну стимулацију треба да задовољи.

На основу анализе и закључака из претходног поглавља у трећем поглављу је представљена општа архитектуру предложеног, новог дистрибуираног система. Применом биомиметичког

принципа пресликане су основне компоненте биолошког система на компоненте система за електричну стимулацију. Дефинисана су два режима рада система, режим моторног учења и режим утврђене примене. За сваки од њих анализирани су проток података и комплексност алгоритма на сваком хијерархијском нивоу. Узимајући у обзир садашње стање технике предложена је једна имплементација опште архитектуре у којој се комуникација између компоненти система одвија бежичним радио путем. Представљене су опште карактеристике система са становишта хардвера и софтвера.

У четвртом поглављу је дат преглед постојећих технологија бежичног преноса које се користе у биомедицинским апликацијама. У наставку је представљен оригинални протокол бежичне комуникације заснован на рутирању у два скока. Уз протокол је дата и методологија различитих начина одређивања оптималне путање. На крају поглавља дати су резултати тестирања развијеног протокола.

У петом поглављу је приказана могућа реализација архитектуре базиране на предложеном протоколу бежичне радио комуникације. Описана је имплементација на бази једног познатог стандарда бежичне комуникације. Представљена је реализације софтвера на хардверским модулима система и на рачунару.

Примена реализованог система је приказана у шестом поглављу. Резултати експерименталне евалуације комплетног система за електричну стимулацију су приказани преко познатог проблема контроле хвата код особа са оштећеном функцијом вољног покрета руке услед можданог удара. Употреба сензорског подсистема за потребе објективне анализе покрета је резултовала кроз неколико публикација укратко описаних у овом поглављу.

У седмом поглављу су дата закључна разматрања и смернице за будућа истраживања.

У прилозима су описани детаљи техничке реализације прототипа система и резултати мерења основних техничких карактеристика.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Проблематика дисертације се односи на актуелну област коришћења електричне стимулације у циљу рестаурације функционалног кретања код парализованих или особа са оштећеним нервно-мишићним системом. Почеци примене електричне стимулације сежу у шездесете године двадесетог века, када је стимулација први пут примењена у рестаурацији поремећаја падајућег стопала. Предстојеће године и деценије су обележене великим напретком на пољу аналогне и дигиталне електронике, сензорских технологија и метода обраде сигнала. Иако је деловало извесно да ће у скорој будућности технологија омогућити парализованим људима да поново ходају, ни данас, пола века касније, то није достигнуто на задовољавајући начин. Савремене технике управљања електричном стимулацијом подразумевају употребу више сензорских повратних спрега и конкурентних стимулација више независних мишића. Резултати из праксе показују да је имплементација таквих управљања на конвенционалним централизованим системима за електричну стимулацију компликована и непрактична, и да су потребна нова системска решења.

Оригиналност дисертације се огледа у дефинисању новог приступа у организацији система за електричну стимулацију. Применом биомиметичког принципа извршено је пресликавање структуре биолошког нервног система на нову предложену архитектуру. Три нивоа повратне спреге из природног система се имплементирају кроз три врсте активних компоненти у дистрибуираном систему. Улога мозга, у коме се затварају повратне спреге највишег нивоа, додељена је централном контролеру. Мозак у природном систему задаје глобалну стратегију управљања и одговоран је за моторно учење. Кичмена мождина у природном систему остварује везу између мозга и периферног нервног система, обезбеђује неке аутономне механизме и повратне спреге средњег нивоа и пресликана је на координатор. Периферни сензорно-моторни систем кога чине склопови чула, мишића и зглобова, обезбеђује повратне спреге нижег нивоа и пресликан је на скуп периферијских јединица са сензорским и/или стимулаторским функцијама. По угледу на природни систем дефинисана су два режима рада, режим моторног учења и режим утврђене примене. Оваква дистрибуција сензорских, контролних и актуаторских функција се одражава на значајно смањење протока података, без нарушавања стабилности система. То за последицу има смањену потрошњу и физичке димензије компоненти, што се директно одражава на практичне аспекте примене оваквог система.

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 кандидатов 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:

- Проучавање постојећих комерцијалних и експерименталних архитектура и уређаја за функционалну електричну стимулацију и идентификовање појединачних предности и недостатака ових система.
- Анализа постојећих алгоритама функционалне електричне стимулације у циљу издвајања релевантних сензорских информација и образаца који се користе као догађаји за препознавање фаза покрета и управљање стимулацијом.
- Пројектовање оригиналне опште архитектуре дистрибуираног система за електричну стимулацију, на основу сазнања и захтева дефинисаних у претходној фази истраживања.
- Пројектовање једне имплементације опште архитектуре базиране на употреби бежичне радио комуникације.
- Развој и реализација прототипа система на бази тренутно доступне технологије.
- Тестирање и евалуација развијеног система, кроз одабрани алгоритам функционалне електричне стимулације и сумирање резултата.

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

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у дисертацији и њихова експериментална верификација имају директну применљивост у рехабилитацији пацијената са оштећеним нервно мишићним системом. Развијена архитектура има општи значај јер даје нови концепт прерасподеле сензорских актуаторских и контролних ресурса, који ће се директно одразити на пројектовање и имплементацију постојећих и нових алгоритама електричне стимулације. Од система базираног на овој архитектури се очекује улога моћног алата у фази развоја нових техника функционалне електричне стимулације, и практичног и погодног помагала у фази њихове примене. Развој и имплементација ове архитектуре су отворили и низ нових питања која у будућности могу бити предмет научне расправе.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде ове докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава проблеме и да успешно влада савременим научним сазнањима и методама. Такође, кандидат је испољио захтевану научну зрелост и оспособљен 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:

- Развијена је нова, оригинална архитектура дистрибуираног система за електричну стимулацију инспирисана структуром биолошког система.

- Развијена је нова имплементација представљене архитектуре базирана на примени бежичне комуникације са дефинисаним принципима прерасподеле хардверских и софтверских компоненти.
- Развијен је нови, оригинални алгоритам специјализоване двосмерне бежичне мрежне комуникације који минимизује кашњење у преносу података и обезбеђује поузданост у раду система.
- Извршена је експериментална евалуација система која потврђује основне концепте архитектуре.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у постављене хипотезе, циљеве истраживања и добијене резултате, констатовали смо да је кандидат успешно одговорио на суштинска питања која су од значаја за решење проблема који му је постављен. Предложена општа архитектура, бежична комуникација развијена специјално за ову примену, као и имплементирани прототип система представљају значајан научни и стручни допринос у области функционалне електричне стимулације. Резултати имају теоријски значај и практичну вредност. Увидом у приложу литературу као и публиковани рад у часопису *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, констатујемо да се истраживањима у овој дисертацији дошло до нових резултата који до сада нису били публиковани.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Ненад Јовичић је до сада објавио следеће радове релевантне за докторску дисертацију:

Категорија M21:

Главни допринос дисертације је у раду:

1. **Jovičić N.**, Saranovac L., Popović D.B.; „Wireless Distributed Functional Electrical Stimulation System“, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Aug. 2012, vol. 9, no. 54, ISSN 1743-0003. (IF=3.264)(doi:10.1186/1743-0003-9-54).

Приказ примене и евалуације развијеног система је у радовима:

2. Djurić-Jovičić M., **Jovičić N.**, Popović D.B., Djordjević A.R.; “Nonlinear Optimization for Drift Removal in Estimation of Gait Kinematics Based on Accelerometers”, *Journal of Biomechanics*, November 2012, Volume 45, Number 16, pp. 2849-2854., ISSN: 0021-9290, Elsevier. (IF=2.434)(doi: 10.1016/j.jbiomech.2012.08.028).
3. Djurić-Jovičić M., **Jovičić N.**, Popović D.B.; “Kinematics of Gait: New Method for Angle Estimation Based on Accelerometers”, *Sensors*, Nov. 2011, Volume 11(11), pp. 10571-10585., ISSN: 1424-8220. (IF=1.739)(doi:10.3390/s111110571).

Категорија M33:

1. Dabić, R.S., **Jovičić, N.S.**; Bit-Rate Selection in Wireless Functional Electrical Stimulation System, 20th Telecommunications Forum, TELFOR 2012 - Proceedings of Papers, pp. 1056-1059, ISBN: 978-1-4673-2982-8, (doi: 10.1109/TELFOR.2012.6419392).
2. **Jovičić N.**, Popović D.B.; “New generation of assistive systems for humans with disability: New tool for neurorehabilitation”, *Proceedings of the 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, Oct. 5-8, 2011, Niš, Serbia, vol. 1, pp. 99–103, ISBN 978-1-4577-2018-5. (doi: 10.1109/TELSIKS.2011.6112013).
3. **Jovičić N.**; “Therapeutic FES with distributed units”, *Proceedings of the 15th annual conference of international FES Society*, Sept 8-12, 2010, pp. 291–293.
4. Djurić-Jovičić M., **Jovičić N.**, Milovanović I. et al; “Classification of walking patterns in Parkinson's disease patients based on inertial sensor data”, *Proceedings of Neural Network Applications in Electrical Engineering (NEUREL)*, 2010 10th Symposium on, Sept 2010, Belgrade, Serbia, vol. 1, pp. 3-6, ISBN 978-1-4244-8821-6. (doi: 10.1109/NEUREL.2010.5644040).

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Ненада Јовичића под насловом „**Дистрибуирани систем за функционалну електричну стимулацију**“ 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.

Магистар електротехнике **Ненад Јовичић** је у току свог образовања на Електротехничком факултету у Београду испунио све обавезе предвиђене Законом и правилима Електротехничког факултета у Београду за израду докторске дисертације. Директно релевантне резултате, који су основа дисертације, је Ненад Јовичић публиковао у водећим часописима у области, а приказао стручној јавности и на конференцијама. Резултати научног истраживања, прецизније техничко решење које је настало на основу истраживања, су евалуирани у реалним (клиничким) условима. Овај део истраживања је показао да решење које је приказано у дисертацији отвара нове могућности и у потпуности обезбеђује применљивост у третману пацијената.

У дисертацији се, користећи биомиметички приступ, разматра важан технички проблем унапређења система који могу на ефикасан начин да омогуће комуникацију између прекинутих сензорно моторних подсистема код човека и на тај начин олакшају третман пацијената после повреде централног нервног система. Критички је приказано стање у области на бази постојећих решења и на основу оригиналних идеја ново решење дистрибуираног система за деловање на парализоване мишиће. Дисертација одражава изванредне могућности кандидата да идеје претвори у квалитетна техничка решења, тако да је свака теоријска поставка добила и техничко отелотворење. Комисија констатује да докторска дисертација садржи оригиналан и савремен научни допринос у домену асистивних технологија у области електронике, мерења и информационих технологија са применама на биомедицинско инжењерство.

Оцењујући докторску дисертацију, као и чињеницу да је анализирана проблематика веома актуелна и савремена са аспекта научног и стручног доприноса, верификована објављивањем три рада у часописима са *SCI* листе, Комисија констатује да је кандидат Ненад Јовичић испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Предлажемо са задовољством Наставно-научном већу да прихвати докторску дисертацију под називом „**Дистрибуирани систем за функционалну електричну стимулацију**“ кандидата Ненада Јовичића и упути је после стављања на увид јавности на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Лазар Сарановац, ванредни 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

др Вујо Дрндаревић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

др Иван Поповић, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет