

Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду

На седници 752. Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду, одржаној 4.9.2012. године одређени смо за чланове Комисије за оцену услова за прихватање теме докторске дисертације Ненада Јовичића, магистра електротехнике, под насловом „Дистрибуирани систем за функционалну електричну стимулацију“. Након прегледа добијеног материјала, Наставно-научном већу Електротехничког факултета подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. 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 у Београду је дипломирао 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 руководилац. Кандидат је учествовао на међународном истраживачком пројекту са шпанским институтом Technalia.

Током своје досадашње каријере кандидат је био аутор или коаутор три рада у истакнутим међународним научним часописима и више радова на домаћим и страним конференцијама:

Радови кандидата у врхунским међународним часописима

1*	Milica Djurić-Jovičić, Nenad Jovičić , Dejan Popović, Antonije Djordjević; “Nonlinear Optimization for Estimation of Gait Kinematics Using Accelerometers”, <i>Journal of Biomechanics, in Press</i> . doi: 10.1016/j.jbiomech.2012.08.028	M21 (IF=2.434/ 2011)
2*	Nenad Jovičić , Lazar Saranovac, Dejan Popović; „Wireless Distributed Functional Electrical Stimulation System“, <i>Journal of Neuroengineering and Rehabilitation</i> , Aug. 2012, vol. 9, no. 54, ISSN 1743-0003. doi:10.1186/1743-0003-9-54.	M21 (IF=3.264/ 2011)

3*	Milica Djurić-Jovičić, Nenad Jovičić , Dejan Popović, “Kinematics of Gait: New Method for Angle Estimation Based on Accelerometers”, <i>Sensors</i> , Nov. 2011, vol. 11, no. 11, pp. 10571-10585, ISSN 1424-8220, doi:10.3390/s111110571.	M21 (IF=1.774/ 2010)
----	---	----------------------------

Радови кандидата у домаћим часописима

1	Nenad Jovičić , Vladimir Rajović, Slavoljub Marjanović; “Extension of the Input Voltage Range of Flyback Converter by Means of IGBT”, <i>Electronics</i> , Sept. 2003, vol. 7, no. 1, pp 25-26.	M53
---	--	-----

Радови кандидата на међународним конференцијама

1	Milica Djurić-Jovičić, Nenad Jovičić , Dejan Popović; “The Influence of Heel Height on Gait Pattern”, <i>Proceedings of 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering</i> , Sept. 14-18, 2011, Budapest, Hungary, vol. 37, pp. 872-875, ISSN 1680-0737.	M33
2*	Nenad Jovičić , Dejan Popović; “New generation of assistive systems for humans with disability: New tool for neurorehabilitation”, <i>Proceedings of the 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)</i> , Oct. 5-8, 2011, Niš, Serbia, vol. 1, pp. 99–103, ISBN 978-1-4577-2018-5, doi: 10.1109/TELSIKS.2011.6112013	M33
3	Jan Veneman, Strahinja Došen, Nadica Miljković, Nenad Jovičić , Aleksandar Veg, Dejan Popović, Thierry Keller; “A device for active posture assistance during over ground gait training”, <i>Proceedings of 1st International Conference on Applied Bionics and Biomechanics</i> , Oct 14-16, 2010, Venice, Italy, [CD ROM].	M33
4	Milica Djuric-Jovicic, Nenad Jovicic , Ivana Milovanovic et al; “Classification of walking patterns in Parkinson's disease patients based on inertial sensor data”, <i>Proceedings of Neural Network Applications in Electrical Engineering (NEUREL)</i> , 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	M33
5*	Nenad Jovičić ; “Therapeutic FES with distributed units”, <i>Proceedings of the 15th annual conference of international FES Society</i> , Sept 8-12, 2010, pp. 291–293.	M33
6	Nadica Miljkovic, Nenad Jovicic , Aleksandar Veg, Dejan Popovic; “Control of Position of center of mass : powered walkaround”, <i>Abstracts of the XVIII Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, ISEK 2010</i> , June 16-19, 2010, Aalborg, Denmark, [CD ROM], ISSN: 978-87-7094-047-4.	M33
7	Milica Djurić-Jovičić, Ivana Milovanović, Nenad Jovičić , Dejan Popović; “Walkaround assisted walking of stroke patients”, <i>International Federation for Medical and Biological Engineering Proceedings</i> , Sept 7-12, 2009, Munich, Germany, vol. 25, no. 9, pp. 299-301, ISSN 1680-0737.	M33
8	Milica Djurić-Jovičić, Ivana Milovanović, Nenad Jovičić , Dejan Popović; “Reproducibility of BUDA Multisensor System for Gait Analysis”, <i>The IEEE Region 8 EUROCON Conference Proceedings</i> , May 18-23, 2009, St.Petersburg, Russia, pp. 108-111, ISBN 978-1-4244-3861-7.	M33

Радови кандидата на домаћим конференцијама

1	Ilija Radovanović, Nikola Rajović, Vladimir Rajović, Nenad Jovičić ; „Signal Acquisition and Processing in Magnetic Defectoscopy of Steel Wire Ropes”, <i>Proceeding of Telecommunications Forum (TELFOR), 2011 19th</i> , Nov. 22-24, 2011, Belgrade, Serbia, pp. 864-867. ISBN 978-1-4577-1499-3.	M63
2	Vladimir Rajović, Nenad Jovičić ; “The Capacitive Divider Power Supply and Its Design Problem”, <i>Proceeding of Telecommunications Forum (TELFOR), 2011 19th</i> , Nov. 22-24, 2011, Belgrade, Serbia, pp. 852-855. ISBN 978-1-4577-1499-3.	M63
3	Milica Djurić-Jovičić, Ivana Milovanović, Nenad Jovičić , Saša Radovanović; “Gait analysis: BUDA vs. GAITRITE“, <i>Proceedings of the 53rd ETRAN Conference</i> , June 15-18, 2009, Serbia.	M63
4	Nenad Jovičić , Milica Đurić, Dejan Popović; “Prenosni sistem za snimanje kinematike i dinamike hoda zasnovan na Bluetooth komunikaciji”, <i>Zbornik radova konferencije Telfor 2007</i> , Beograd.	M63
5	Milijan Čelić, Nenad Jovičić ; „Višenamenska mikrokontrolerska platforma sa implementiranim Ethernet kontrolerom“, <i>Zbornik radova konferencije Telfor 2006</i> , Beograd.	M63
6	Nenad Jovičić , Vladimir Rajović, Slavoljub Marjanović; “Zaštita flyback konvertora od zamene linija faze i nule u trofaznim primenama sa preciznom regulacijom izlaznog napona”, <i>Zbornik radova konferencije ETRAN '05</i> , Jun 5-10, 2005, Budva.	M63
7	Vladimir Rajović, Nenad Jovičić , Slavoljub Marjanović; “Zaštita flyback konvertora od zamene linija faze i nule u trofaznim primenama”, <i>Zbornik konferencije INFOTEH-JAHORINA</i> , 2005, vol. 4, Ref. E-III-11, pp. 368-370.	M63
8	Vladimir Rajović, Nenad Jovičić ; “Ekonomični adaptivni regulator temperature u centralnom sistemu toplovodnog grejanja”, <i>Zbornik konferencije IT 2004</i> , pp. 51-54.	M63
9	Vladimir Rajović, Nenad Jovičić , Slavoljub Marjanović; “Proširenje opsega ulaznog napona flyback konvertora korišćenjem IGBT tranzistora”, <i>Zbornik konferencije INFOTEH-JAHORINA</i> , 2003, vol. 3, Ref. F-9, pp. 311-312.	M63
10	Nenad Jovičić ; „Mikroprocesorski upravljani pozicioni kontroler“, <i>Zbornik radova konferencije Etran 2002</i> , Teslić.	M63

(*) Радови који су повезани са предложеном темом.

На основу изложених биографских и библиографских података, сматрамо да је кандидат подобан за израду предложене докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Функционална електрична стимулација се користи за активацију моторних функција парализованих мишића. Активација се реализује побуђивањем моторних или сензорних нерава контролисаном количином електрицитета у облику поворке импулса. Импулси замењују физиолошке сигнале који су настали као последица повреде централног нервног система (повреда кичмене мождине, обољења или повреда мозга, и слично). Функционална електрична стимулација може да се користи и у терапијске сврхе где је циљ одржавање и побољшање физиолошког стања мишића, односно

генерисање покрета који нису могући вољним активностима. Ефикасна стимулација подразумева селективно побуђивање различитих група мишића, постојање повратне спреге која даје информацију о стању система, и имплементацију управљања које је интегрисано у биолошки систем. Прецизније, стимулација треба да замени непостојећи или оштећени биолошки механизам контроле и координације покрета који је хијерархијски, дистрибуиран и користи повратну спрегу.

Централизована архитектура система функционалне електричне стимулације подразумева употребу вишеканалног стимулатора, који је директно жичаном везом повезан са електродама и сензорима којима се остварује повратна спrega. Алгоритам стимулације се извршава на самом стимулатору и прилагођен је процесорској моћи стимулатора. Алгоритам стимулације се пројектује на рачунару али у фази извршавања рачунар нема активну улогу у стимулацији. Технолошки недостаци централизоване архитектуре функционалне електричне стимулације су ограничена комплексност алгоритма условљена процесорском моћи стимулатора и немогућност праћења и измена алгоритма стимулације у току рада. Функционални недостатаци су тешкоће у постављању система на субјекта, а посебан проблем су проводници који стварају утисак непријатности и битно утичу на ефикасност употребе.

Основна хипотеза ове докторске тезе је да дистрибуирана архитектура система функционалне електричне стимулације може да превазиђе уочене недостатке централизоване архитектуре и обезбеди ефикаснију имплементацију нових алгоритама. Дистрибуирана архитектура треба да дефинише принципе прерасподеле хардверских и софтверских компоненти као и протоколе њихове комуникације и синхронизације. Основну хардверску компоненту дистрибуираног система чине извршне јединице које у себи интегришу стимулаторске, сензорске, комуникационе и процесорске функције. Извршне јединице посредством мрежних координатора бежично комуницирају међу собом и са централном јединицом. Поуздан рад система подразумева размену информација између стимулатора и координатора у реалном времену, што захтева пројектовање мрежног протокола који обезбеђује мала времена кашњења података и добру синхронизацију елемената система. Комплексни стимулациони алгоритми се заснивају на коришћењу сирових и обрађених сензорских информација, и дефинисање правилне прерасподеле софтверских модула директно утиче на количину протока података и поузданост рада.

Од дистрибуираног система се очекује да поседује особине моћног алата у фази развоја и тестирања алгоритама функционалне електричне стимулације, и поузданог и конформног терапеутско-функционалног помагала у фази примене. Централна јединица у фази развоја, тестирања и прилагођавања алгоритама стимулације може да буде рачунар са прилагођеним корисничким интерфејсом, док је у фази самосталног рада система то наменски рачунарски систем.

3. Осврт на релевантне библиографске изворе

Идеја дистрибуиране функционалне електричне стимулације најбоље је промовисана и представљена преко BION технологије [1]. BION технологија подразумева мрежу минијатурних нискоенергентских једноканалних стимулатора који се хируршки имплантирају у моторне и сензорне нерве субјекта. Прва генерација BION стимулатора је подржавала дистрибуирану стимулацију, али без сензорне повратне спреге и локалног напајања. Енергија за рад система је обезбеђивана коришћењем индуктивне спреге са трансмисионим намотајима у близини импланта непосредно изнад површине коже. Друга генерација микростимулатора је као новину увела одређене сензорске функције, као што су мерење биопотенцијала, мерење промене релативне позиције суседних стимулатора, температуре и притиска [2]. Бидирекциона

комуникација је обезбеђена коришћењем широкопојасне високофреквентне бежичне комуникације, али и даље је систем могао да функционише само уз присуство спољашњих напојно-комуникационих калемова. На крају је трећа генерација BION-a у себи интегрисала локално батеријско напајање у покушају да се омогући макар краткотрајна аутономија система [3].

Наведени концепт је инспирисао истраживања која су покушала да отклоне препознате недостатке импланата, као што су мала енергетска ефикасност и унапређење комуникације [4-7], као и интеграција нових сензорских система у импланте [8]. Постојећи систем који користе импланте, по својој суштинској замисли имају предности као ортотичко помагало. Са друге стране, хируршке процедуре уграђивања импланата су компликоване, и неопходно је пре њих што прецизније дефинисати позиције импланата, њихове стимулационе и сензорске функције, али и глобалне алгоритме рада система. У томе је потребно ослонити се на систем са површинском стимулацијом.

У време развоја првих система за функционалну електричну стимулацију коришћена је контрола у отвореној спрези али је врло брзо уочена потреба за коришћење повратне спреге као контролног механизма стимулације [9]. Са развојем нових технологија минијатурних инерцијалних и електронских сензора развијали су се и алгоритми засновани на коришћењу линеарних метода управљања [10], *fuzzy* логике [11], управљање на бази правила (*rule-based control*) [12] а у последње време и неураних мрежа [13]. Разноликост сензорских информација и комплексност нових алгоритама захтевају све јаче рачунарске ресурсе и специфичне алгоритме подешавања. У том смислу децентрализација система је пожељна јер омогућава растеређивање сензорских и стимулационих јединица од потребе за интензивним локалним процесирањем и даје могућност да кориснички интерфејс буде измештен на удаљени рачунар.

Погодна дистрибуирана архитектура са површинским електродама и жичним везама је представљена у раду [14], али недостатак таквог система је компликовано постављање и неповољан психолошки утицај проводника на субјекта. Бежичне сензорске мреже са данас развијају великом брзином, и због своје мале потрошње, минијатурних димензија сензорских уређаја и ниске цене наилазе на све већу примену како у индустрији тако и у здравству и рехабилитацији [15] кроз различите системе за праћење дневних активности [16], постоперативних стања [17] или виталних функција пацијената [18].

Рад који се директно односи на проблем који се проучава у докторској тези, а објављен је у реномираном међународном часопису, је: Nenad Jovičić, Lazar Saranovac, Dejan Popović; „Wireless Distributed Functional Electrical Stimulation System“, *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, Aug. 2012, vol. 9, no. 54, ISSN 1743-0003, doi:10.1186/1743-0003-9-54, са импакт фактором 3.264 за 2011. годину. У њему су описани концепт и суштинске одлике архитектуре која ће бити представљена у дисертацији.

- [1] Loeb GE, Peck RA, Moore WH, *et al*: BION - system for distributed neural prosthetic interfaces. *Medical Engineering & Physics* 2001, 23:9–18.
- [2] Troyk PR, Brown IE, Moore WH, Loeb GE: Development of BION™ technology for functional electrical stimulation: bidirectional telemetry. In *Proceedings of the 23rd annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society* 2001, 2:1317–1320.
- [3] Loeb GE, Richmond FJR, Singh J, Peck RA, Tan W, Zou Q, Sachs N: RF-Powered BIONs™ for stimulation and sensing. In *Proceedings of the IEMBS '04. 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 2004, 2:4182–4185.

- [4] Poulton AS, Andrews BJ: A simple to program but sophisticated distributed control system for surface FES applications. *Proceedings of the 9th Annual Conference of the International FES Society*; UK: Bournemouth; 2004.
- [5] Myers FB, Simpson JA, Ghovanloo M: A wideband wireless neural stimulation platform for high-density microelectrode arrays. *Proceedings of the EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 2006, 1:4404–4407.
- [6] Lee SY, Hsieh CH, Yang CM: Wireless front-end with power management for an implantable cardiac microstimulator. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems* 2012, 6(1):28–33.
- [7] Lee SY, Lee SC: An implantable wireless bidirectional communication microstimulator for neuromuscular stimulation. *IEEE Trans. Circuits and Syst.* 2005, 52(12):2526–2538.
- [8] Lee E, Matei E, Gord J, Hess P, Nercessian P, Stover H, Li T, Wolfe J: A biomedical implantable FES battery-powered micro-stimulator. *IEEE Trans. Circuits and Syst.* 2009, 56(12):2583–2596.
- [9] N. Hoshimiya, A. Naito, M. Yajima, and Y. Handa, “A multichannel FES system for the restoration of motor function in high spinal cord injury patients: A respiration-controlled system form multijoint upper extremity,” *IEEE Trans. Biomed. Eng* 1989, 36:7, pp 754–760.
- [10] Stanic U, Trnkoczy A: Closed-Loop Positioning of Hemiplegic Patient's Joint by Means of Functional Electrical Stimulation, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1974, 21:5.
- [11] Ogawa Y et al.: Locomotion Assistance for the Person with Mobility Impairment: Fuzzy Control of Cycling Movement by Means of Surface Electrical-Stimulation, *Proceedings of the IEMBS '07. 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 2007, 2420–2423.
- [12] Kostov, A., Andrews, B.J., Popovic, D.B., Stein, R.B., Armstrong W.W.: Machine learning in control of functional electrical stimulation systems for locomotion, *IEEE Trans Biomed. Eng.* 1995, 42(6):541–51.
- [13] Juan G. H., Robert F. K.: Feasibility of EMG-Based Neural Network Controller for an Upper Extremity Neuroprosthesis, *IEEE Transactions on neural Systems and Rehabilitation Engineering* 2009, 17:1.
- [14] Andreu D, Guiraud D, Souquet G: A distributed architecture for activating the peripheral nervous system. *J Neural Eng* 2009, 6(2):026001.
- [15] Jovanov E, Milenkovic A, Otto C, de Groen PC: A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil* 2005, 2:6.
- [16] Pansiot J, Stoyanov D, McIlwraith D, Lo BP, Yang GZ: Ambient and wearable sensor fusion for activity recognition in healthcare monitoring systems. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (IFBME'07)* 2007, 13:208–212.
- [17] Lo B, Atallah L, Aziz O, ElHelw M, Darzi A, Yang GZ: Real-time pervasive monitoring for post-operative care. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (IFBME'07)* 2007, 13:122–127.
- [18] Krahn AD, Klein GJ, Skanes AC, Yee R: Insertable loop recorder use for detection of intermittent arrhythmias. *Pacing Clin Electrophysiol* 2004, 27(5):657–664.

4. Полазне хипотезе

У раду се полази од следећих хипотеза:

- дистрибуирани систем за функционалну електричну стимулацију базиран на употреби бежичне сензорско актуаторске мреже може да замени конвенционални централизован систем;
- на дистрибуираним системима се могу имплементирати напредни алгоритми функционалне електричне стимулације као и они који се користе на централизованим системима;
- коришћење дистрибуираних система је знатно једноставније како са становишта терапеутске примене тако и са становишта развоја и анализе познатих и нових комплексних алгорита функционалне електричне стимулације.

5. Научне методе истраживања

Први део истраживања ће обухватити проучавање постојећих комерцијалних и експерименталних архитектура и уређаја за функционалну електричну стимулацију и идентификовање појединачних предности и недостатака ових система. Затим ће бити анализирани постојећи алгоритми функционалне електричне стимулације у циљу издвајања релевантних сензорских информација и образаца који се користе као догађаји за препознавање фаза покрета и управљање стимулацијом. Биће анализирана и комплексност постојећих алгоритама стимулације у циљу дефинисања неопходних рачунарских ресурса које предложена дистрибуирана архитектура треба да поседује. У следећој фази ће се приступити пројектовању и реализацији прототипа заснованог на оригиналној дистрибуираној архитектури система који задовољава захтеве идентификоване у претходним фазама истраживања. С обзиром да се дистрибуираност обезбеђује употребом бежичне комуникације биће анализирани постојећи мрежни протоколи и биће предложена модификација која обезбеђује мала времена кашњења и поуздан рад система. На крају истраживања биће извршена клиничка евалуација развијеног система, кроз одабране алгоритме функционалне електричне стимулације, са сумирањем резултата и статистичком обрадом.

6. Очекивани научни доприноси

Циљ истраживања и очекивани резултати ове докторске дисертације су:

- развој оригиналне архитектуре система минијатурних вишеканалних стимулатора са интегрисаним сензорским функцијама;
- развој алгоритма специјализоване двосмерне бежичне мрежне комуникације који минимизује кашњење у преносу података и обезбеђује поузданост у раду система;
- клиничка евалуација система која укључује поређење са референтним централизованим системом.

Очекивани научни допринос је дефинисање нове дистрибуиране архитектуре система за функционалну електричну стимулацију која ће превазићи већину недостатака централизованих система и омогућити ефикасну примену нових комплексних стимулационих алгоритама.

7. Структура рада

Докторска дисертација ће садржати шест делова. У првом делу ће бити описана постојећа централизована и дистрибуирана решења система и анализирани њихове карактеристике. У другом делу ће бити анализирани постојећи алгоритми функционалне електричне стимулације са становишта употребе различитих сензорских ресурса и алгоритама процесирања, и биће дефинисани функционални захтеви које дистрибуирана архитектура треба да задовољи. У трећем делу ће бити описана оригинална архитектура и једна реализација новог дистрибуираног система укључујући принципе и реализацију дистрибуције хардвера и софтвера. У четвртном делу ће бити описан протокол бежичне комуникације који је настао као адаптација постојећих протокола који се користе у бежичним сензорским мрежама а прилагођен је овој специфичној примени. У петом делу ће бити приказани резултати клиничке евалуације развијеног система и поређење са референтним централизованим системом. Закључна разматрања ће бити представљена у шестом делу дисертације.

8. Закључак и предлог

На основу свега изложеног, Комисија сматра да кандидат Ненад Јовичић, магистар електротехнике, испуњава све формалне и суштинске услове за приступање изради докторске дисертације. Резултати до којих би кандидат требало да дође, имали би значајан допринос у области електронике. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Ненаду Јовичићу одобри израду докторске дисертације под насловом „Дистрибуирани систем за функционалну електричну стимулацију“, из области електронике а под руководством ментора доц. Др Лазара Сарановца.

У Београду, 29.9.2012.

Чланови Комисије:



Др Лазар Сарановац, доцент, ментор

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