

Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 07.02.2012. godine određeni smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije Milice Đurić-Jovičić, diplomiranog inženjera elektrotehnike, pod naslovom „Metode analize signala sa inercijalnih senzora za analizu hoda pacijenata sa oštećenim obrascem hoda“. Nakon pregleda, dobijenog materijala, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

Dipl. inž. Milica Đurić-Jovičić je rođena 19. februara 1982. u Beogradu, gde je završila Osnovnu školu „Vuk Karadžić“ i Petu beogradsku gimnaziju, prirodno-matematički smer. Na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu je diplomirala 19. aprila 2007. godine, na Odseku za Telekomunikacije, sa diplomskim radom na temu „Ispitivanje raspodele sile reakcije podloge pri hodu sa različitim visinama potpetica“, u okviru predmeta Principi biomedicinskog inženjerstva, kod mentora prof. dr Dejana Popovića. Od septembra 2007. godine zaposlena je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu kao saradnik na projektu, gde iste godine upisuje doktorske studije, na smeru Upravljanje sistemima i obrada signala.

U svom dosadašnjem radu dipl. inž. Milica Đurić-Jovičić je samostalno ili u saradnji sa drugim autorima objavila 4 rada u međunarodnim časopisima (od čega su 3 iz oblasti teze), 1 rad u domaćem časopisu, 7 radova na međunarodnim konferencijama i 8 radova na konferencijama nacionalnog značaja.

Rad koji se direktno odnosi na problem koji se proučava u doktorskoj tezi, a objavljen je u renomiranom međunarodnom časopisu, je: **Đurić-Jovičić M.**, Jovičić N., Popović D.B., “Kinematics of Gait: New Method for Angle Estimation Based on Accelerometers”, *Sensors*, 2011, Vol. 11(11), pp. 10571-10585, sa impakt faktorom za 2010. godinu 1,774 (M21).

Pored toga, učestvovala je u realizaciji dva projekta tehnološkog razvoja MNTR Republike Srbije (OI#145041, MNTR, „Funkcionalna električna terapija (FET) za formiranje motornih obrazaca posle cerebrovaskularnog insulta“, i TR#175016, MNTR, „Efekti asistivnih sistema u neurorehabilitaciji: oporavak senzorno-motornih funkcija“, rukovodilac oba projekta: prof. dr Mirjana Popović), i jednog međunarodnog projekta (TEMPUS JP 144537-2008, „Curricula Reformation and Harmonisation in the Field of Biomedical Engineering“, rukovodilac projekta: prof. dr Dejan Popović).

Naučnoistraživački rad Milice Đurić-Jovičić u okviru doktorskih studija bio je usmeren na sledeće oblasti: biomedicinsko inženjerstvo, medicinsku instrumentaciju, rehabilitaciju pokreta, kliničko inženjerstvo, motornu kontrolu i biomehaniku.

Većina predmeta na doktorskim studijama je bila tesno povezana sa oblasti kojom se kandidat bavi. Kandidat je položio sve ispite sa doktorskih studija sa ocenom 10. Ti predmeti su: Neuralne mreže, Metode i instrumentacija za elektrofiziologiju, Neuralne proteze, Motorna kontrola i rehabilitacija, Odabrane metode obrade fizioloških signala, Linearne i nelinearne metode analize signala, Elektromagnetska kompatibilnost i

integritet signala, Tehnike obrada i prepoznavanja govornog signala, Veštačka inteligencija i Uvod u naučni rad. U toku doktorskih studija je priznat naučno-istraživački rad na osnovu objavljenih radova.

2. Predmet i cilj istraživanja

2.1. Predmet istraživanja

Procenjuje se da će u narednih 15 godina preko 21% populacije Evrope biti starije od 65 godina, a 2050. godine će biti čak 32%. Ovakva populaciona slika menja i problematiku koje se tiče mobilnosti starijih ljudi i pacijenata obolelih od poremećaja pokreta. Padovi i strah od padanja su faktor koji brine stariju populaciju, pacijente sa oštećenim obrascem hoda, njihove porodice i, naravno, kliničare. Imajući sve to u vidu, nameće se zaključak da je neophodno pratiti i vršiti objektivnu procenu parametara hoda kod ove populacije kako bi se na vreme uočile eventualne promene obrasca hoda. Takođe, praćenje parametara hoda je bitno i kod praćenja oporavka pacijenata usled terapije ili progresa bolesti. Promene usled terapije su često spore i podložne subjektivnom utisku terapeuta. Stoga, da bi se stvorila realna klinička slika pacijenata, procena efekata terapije zahteva primenu novih tehnologija radi objektivizacije rezultata.

Danas se klinička analiza hoda obavlja na dva načina: 1) u posebno opremljenoj prostoriji u koju je integrisana skupocena oprema relativno komplikovana za korišćenje i 2) vizuelnim pregledom lekara ili terapeuta.

Alternativa ovim rešenjima koja još nije zaživela u kliničkoj praksi su portabilni sistemi koji se uglavnom zasnivaju na upotrebi inercijalnih senzora (akcelerometara, žiroskopa i magnetometara) pomoću kojih je moguće praćenje kinematike kretanja. Upotreba ovih senzora za rekonstrukciju i analizu pokreta ima određena ograničenja usled prirode, odnosno tehnologije izrade samih senzora, što predstavlja problem za objektivnu analizu hoda, posebno kod pacijenata sa poremećajima hoda. Teza se bavi razvojem metoda obrade signala prikupljenih pomoću jednog ovakvog senzorskog sistema koji bi bio jednostavan za postavljanje i korišćenje, kao i obradu snimljenih podataka, i koji se može primenjivati u bilo kom okruženju (kliničkom, kućnom, napolju, itd.).

Razvoj praktičnog senzorskog sistema koji je jednostavan za postavljanje i korišćenje i omogućava procenu kinematike i kinetike pri hodu, kao i vremenskih i prostornih parametara hoda, od posebnog je značaja za kliničke primene različitih epidemiologija (na primer kod rekovalescenata nakon moždanog udara, kod povreda/bolesti centralnog nervnog sistema, Parkinsonove bolesti, cerebralne paralize, multiple skleroze, Hantingtonove bolesti i još mnogih drugih).

2.2. Cilj istraživanja

Osnovni cilj istraživanja je doprinos metodologiji za obradu podataka sa inercijalnih senzora (žiroskopa i akcelerometara) i senzora sile koji se postavljaju na telo ispitanika u toku hoda, a sa ciljem pojednostavljenja kliničke procene kvaliteta hoda. Ova metodologija je od posebne važnosti za procenu nivoa motornog deficita, progresa bolest i efikasnosti terapija.

Posebna pažnja u istraživanju je izbor optimalnog (minimalnog) hardvera i metode postavljanja komponenti sistema na ispitanike na način koji obezbeđuje ponovljivost i radi sa minimalnom mernom nesigurnošću.

S obzirom da se radi o novim komponentama hardvera istraživanje će uključiti i procenu merne nesigurnosti pojedinih komponenti hardvera.

Važna komponenta istraživanja je razvoj novih metoda obrade signala sa inercijalnih senzora u procesu određivanja kinematičkih veličina koje su uobičajene u analizi hoda (uglovi u zglobovima, ugaone brzine u zglobovima).

Konačno, razvoj metodologije zahteva posebnu analizu podataka koji se dobijaju pri primenama na ispitanicima sa raznim tipovima deficita (epidemiologije). Posebna pažnja će biti posvećena ispitanicima posle moždanog udara i ispitanicima sa Parkinsonovom bolešću.

Rezultati ovog istraživanja treba da omoguće jednostavno postavljanje i jednostavnu kalibraciju sistema sa inercijalnim senzorima i pretvaračima sile koji se postavljaju u obuću. Rezultat istraživanja treba da bude i korisnički interfejs koji omogućuje smeštanje podataka u bazu podataka i primene raznih tehnika obrade sa ciljem generisanja objektivne slike motornog deficita pacijenta koji je od interesa za kliničare.

3. Osvrt na relevantne bibliografske izvore

Analiza hoda i objektivizacija parametara hoda je postala široko rasprostranjen klinički alat. Sve veći broj kliničara bira pogodne tretmane za lečenje pacijenata na osnovu informacija o kinematici i kinetici hoda [1]-[3].

Neke klinike i istraživački instituti imaju posebno opremljene laboratorije za hod sa integrisanim optičkim sistemima za analizu kinematike i mernim platformama sa analizu sila i momenata reakcije podloge. Međutim, s obzirom na visoku cenu, tehnički i vremenski zahtevnu upotrebu ovakvih laboratorija, kao i prostorno ograničenu primenu, sve više kliničara i istraživača se okreće portabilnim senzorskim sistemima koji se montiraju na telo pacijenata i čiji je hod moguće snimiti u različitim okruženjima [4],[5]. Najveći broj ovih sistema se zasniva na upotrebi senzora napravljenih u MEMS tehnologiji, prvenstveno akcelerometara i žiroskopa. Primena ovih senzora je raznovrsna: praćenje i prepoznavanje dnevnih aktivnosti [6],[7], analiza obrasca hoda [8],[9], i naravno, proračun kinematičkih parametara hoda [10]-[17]. Proračun kinematičkih parametara predstavlja veliki problem zbog tehnologije izrade MEMS senzora tj. postojećeg drifta koji se akumulira tokom numeričkih operacija procesiranja signala sa ovih senzora. Iz ovog razloga će u tezi posebna pažnja biti posvećena izboru optimalne konfiguracije senzora i metode obrade signala koja će davati najbolju estimaciju uglova segmenata i zglobova donjih ekstremiteta, a koja odgovara zahtevima kliničke upotrebe. Analiza hoda takodje predstavlja efikasnu alatku za procenu i kvantifikovanje efekata hirurških intervencija kao i oporavka usled fizikalne terapije. Merenje parametara hoda je važan zahtev u oblasti ortopedije i rehabilitacije [18],[19].

ali i progresu bolesti. Poseban problem predstavljaju pacijenti sa neuro-degenerativnim bolestima, među kojima je i Parkinsonova bolest. Ovi pacijenti tokom progresu bolesti menjaju obrazac hoda, mogu da razviju deformitete hoda koji su često neprijatni, usporavaju im obavljanje svakodnevnih obaveza i utiču na kvalitet života, a neretko

dovode i do padova [20]-[24]. Objektivno praćenje obrasca hoda ovih pacijenata omogućava eventualnu korekciju prepisane terapije, a može i da ukaže na eventualne promene stanja i simptoma parkinsonizma, što će biti cilj istraživanja u okviru teze.

- [1] D. Hodgins, "The Importance of Measuring Human Gait", *Medical Device Technology*, 2008, Vol. 19, No.5, pp 42-47
- [2] H. Furnee, "Real-time motion capture systems in Three-Dimensional Analysis of Human Locomotion", Allard P.; Cappozzo A.; Lundberg A.; Vaughan C.L. Eds. New York: Wiley, 1997, 85-108.
- [3] J. Perry, "Gait Analysis, Normal and Pathological Function", Slack Incorporated, NJ, 1992.
- [4] L. Allet, R. Knols, K. Shirato et al., "Wearable Systems for Monitoring Mobility-Related Activities in Chronic Disease: A Systematic Review", *Sensors*, 2010, Vol.10, No.10, pp. 9026-9052.
- [5] J.H.M. Bergmann, A.H. McGregor, "Body-Worn Sensor Design: What Do Patients and Clinicians Want?", *Annals of Biomedical Engineering*, 2011, Vol. 39, No. 9, pp. 2299–2312.
- [6] B. Najafi, K. Aminian et al. "Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: monitoring of daily physical activity in the elderly", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2003, Vol. 50, No. 6, pp. 711-723.
- [7] M.N. Nyan, F.E.H. Tay et al., "Classification of gait patterns in the time-frequency domain", *Journal of Biomechanics*, 2006, Vol. 39, No. 14, pp. 2647-2656.
- [8] C. Mizuike, S. Ohgi, S. Morita, "Analysis of stroke patient walking dynamics using a tri-axial accelerometer", *Gait and Posture*, 2009, Vol. 30, pp. 60-64.
- [9] S.H. Peurala, E.B. Titianova et al. "Gait characteristics after gait-oriented rehabilitation in chronic stroke", *Restorative Neurology and Neuroscience*, 2006, Vol. 23, pp. 57-65.
- [10] R.E. Mayagoitia, A.V. Nene, P.H. Veltink, "Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: an inexpensive alternative to optical motion analysis systems", *Journal of Biomechanics*, 2002, Vol. 35, pp. 537-542.
- [11] K. Aminian, B. Najafi, C. Bnla et al., "Spatio-temporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes", *Journal of Biomechanics*, 2002, Vol. 35, pp. 689-699.
- [12] R. Takeda, S. Tadano, M. Todoh et al., "Gait analysis using gravitational acceleration measured by wearable sensors", *Journal of Biomechanics*, 2009, Vol. 42, pp. 223-233.
- [13] H. Dejnabadi, B.M. Jolles, E. Casanova et al., "Estimation and visualization of sagittal kinematics of lower limbs orientation using body-fixed sensors", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2006, Vol. 53, pp. 1385-1393.
- [14] H. Dejnabadi, B.M. Jolles, K. Aminian, "A new approach to accurate measurement of uniaxial joint angles based on a combination of accelerometers and gyroscopes", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2005, Vol. 52, pp. 1478-1484.

- [15] J. Favre, B.M. Jolles, R. Aissaoui et al., "Ambulatory measurement of 3D knee joint angle". *Journal of Biomechanics*, 2008, Vol. 41, pp. 1029-1035.
- [16] G. Cooper, I. Sheret, L. McMillian et al., "Inertial sensor-based knee flexion/extension angle estimation", *Journal of Biomechanics*, 2010, Vol. 42, pp. 2678-2685.
- [17] A. Ferrari, A.G. Cutti, P. Garofalo et al., "First in vivo assessment of "Outwalk": a novel protocol for clinical gait analysis based on inertial and magnetic sensors", *Med Biol Eng Comput.*, 2010, Vol. 48, No.1, pp. 1-15.
- [18] K.M. Culhane, M. O'Connor, D. Lyons, G.M. Lyons, „Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults“, *Age and Ageing*, 2005, Vol. 34, pp. 556-560.
- [19] K. Aminian, C. Trevisan, B. Najafi et al., "Evaluation of an ambulatory system for gait analysis in hip osteoarthritis and after total hip replacement", *Gait & Posture*, 2004, Vol. 20, pp. 102-107.
- [20] J.M. Hausdorff, "Stride variability: beyond length and frequency," *Gait & Posture*, 2004, Vol. 20, No. 3, pp. 304.
- [21] N. Giladi, T.A. Treves, E.S. Simon et al., "Freezing of gait in patients with advanced Parkinson's disease", *Journal of Neural Transmission*, 2001, Vol. 108, No. 1, pp. 53-61.
- [22] S.T. Moore, H.G. MacDougall, W.G. Ondo, "Ambulatory monitoring of freezing of gait in Parkinson's disease", *Journal of Neuroscience Methods*, 2008, Vol. 167, pp. 340-348.
- [23] N. Giladi, B.R. Bloem, J.M. Hausdorff, "CHAPTER 36 - GAIT DISTURBANCES AND FALLS," in Anthony, H. V. S., MD, DSc, FRCP, and Anthony, H. V. S. (eds.) *Neurology and Clinical Neuroscience Philadelphia: Mosby*, pp. 455-470, 2007.
- [24] J.M. Hausdorff, D.A. Rios, H.K. Edelberg, "Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2001, Vol. 82, No. 8, pp. 1050-1056.

4. Polazna hipoteza rada

Polazna hipoteza je da je moguće primeniti merni sistem zasnovan na upotrebi inercijalnih senzora, koji zahteva minimalnu kalibraciju (bez posebnih kalibracionih uređaja) za procenu hoda, ali je potrebno primeniti tehnike obrade signala koje su specifične za pojedine tipove motornih deficita u hodu, ili preciznije kategorije pacijenata sa poremećenim obrascem hoda.

Hipoteza je da rezultat primene novih tehnika obrade signala daje na svom izlazu objektivnu sliku motornog deficita, odnosno obezbeđuje kliničarima objektivnu procenu stanja ili promena obrasca hoda kod pacijenata sa poremećajima u hodu i stajanju.

5. Naučne metode istraživanja

Ovo istraživanje prati savremene trendove u razvoju mernih sistema za objektivizaciju u rehabilitaciji, ali i u sportu, rekreaciji i posebno u razvoju tehnologija za ljude u procesu starenja. Kao što je pokazano u pregledu literature težište istraživanja je u

unapređenju primene sistema koji se postavljaju na telo ispitanika i primenu savremenih jeftinih robusnih senzora koji imaju male energetske zahteve.

U ovom radu se razmatra novi merni sistem koji koristi integrisane akcelerometre i žiroskope napravljene u MEMS tehnologiji [12]. Kinematika hoda se kod ovog sistema snima bežičnim senzorskim jedinicama (sa integrisanim akcelerometrima i žiroskopima) koji se postavljaju na segmente nogu. Osim kinematike, ovaj sistem podržava i snimanje i analizu kinetike, za šta se koriste posebno dizajnirani ulošci za obuču sa integrisanim senzorima sile. Svi senzori su lagani, malih dimenzija i ne ometaju hod ispitanika. Tokom hoda, prikupljeni signali se šalju na računar gde se prikazuju i čuvaju nakon čega sledi obrada signala, računanje parametara i analiza obrasca hoda.

Primena novog mernog sistema zahteva pre svega proveru tačnosti sistema, odnosno modula sistema. Ovaj deo istraživanja će uključiti poređenje podataka koji se dobijaju novim mernim sistemom sa postojećim sistemima čiju mernu nesigurnost poznajemo. Ovaj deo istraživanja uključuje primenu dvostrukog klatna čije je kretanje definisano matematičkim modelom, a koje je fizički analogno modelu noge.

U izboru optimalnog metoda za obradu originalnih signala sa senzora biće upoređene različite metode opisane u literaturi sa novim metodama koje se predlažu u tezi, a koristeći kao standard druge merene sisteme za hod koji su validirani za kliničke primene. Pri izboru metode za obradu signala pažnja će biti posvećena i posmatranju kinematičkih signala kao stohastičkih signala i primeni statističkih metoda klasifikacije.

U cilju objektivizacije će se snimati signali u toku hoda zdravih ispitanika različitim brzinama i generisati izlazni set podataka koji karakteriše zdrav obrazac hoda. Ovaj obrazac je od interesa za kliničke primene kao standard (benchmark). U toku istraživanja će, prema posebno definisanim modelima, koje su odobrili etički komiteti medicinskih ustanova, a koji su razvijeni u interaktivnom radu sa kliničarima, biti sniman hod većeg broja ispitanika sa raznim tipovima (etiologijama) motornih deficita. Ovo je neophodno da bi se na osnovu analize odredilo koje specifičnosti moraju da se analiziraju posebnim metodama obrade signala, a koje daju značajne elemente za dijagnostiku motornog deficita. Preciznije, u Institutu za rehabilitaciju „Dr. Miroslav Zotović“ u Beogradu, i na Klinici za neurologiju Kliničkog centra Srbije u Beogradu biće snimljen hod nekoliko desetina pacijenata sa oštećenjima hoda.

Za obradu signala će se koristiti MatLab, a rezultati će biti algoritmi za računanje uglova segmenata nogu i/ili zglobova, kao i prostorno-vremenskih parametara hoda. U disertaciji će se odvojeno prikazati slučajevi u kojima je neophodno posmatrati kretanje u prostoru (3D analiza) i mnogo češći slučaj kad se kinematika može redukovati na sagitalnu ravan (2D analiza). Algoritmi uključuju i kalibraciju senzora, eliminaciju drifta, rekonstrukciju trajektorije i izračunavanje niza drugih relevantnih podataka koji karakterišu obrazac hoda.

Poseban fokus teze će biti klinička primena razvijenih algoritama na analizu hoda pacijenata sa Parkinsonovom bolešću, pri čemu će se za opisane algoritme objasniti neophodno proširenje analize, tj. prepoznavanje promena parametara hoda u okviru snimljene sekvence hoda, prepoznavanje poremećaja nastalih u toku snimljene sekvence hoda (tzv. „freezing“ epizode), određivanje njihovog trajanja i klasifikacija podtipova svake od tih epizoda.

6. Sadržaj doktorske disertacije

Glavna poglavlja doktorske disertacije biće:

- Uvodna razmatranja,
- Karakteristike senzora i njihova primena za računanje kinematičkih parametara hoda,
- Obrada senzorskih podataka sa analizom različitih kombinacija senzora radi što tačnije estimacije uglova pri hodu,
- Primena razvijenih metoda na snimljene signale pacijenata sa poremećenim obrascem hoda, diskusija i analiza dobijenih rezultata,
- Preporuke za budući rad i
- Zaključne napomene sa glavnim doprinosima.

U prvom delu rada bi se opisali definicija hoda i faza hoda sa osvrtom na moguće deformitete i poremećaje hoda, a zatim bi se istakao značaj objektivnog praćenja parametara hoda i postojeće kliničke metode.

Zatim bi usledio pregled postojećih primena inercijalnih senzora uz objašnjenje problematike dobijanja kinematičkih parametara sa što većom tačnošću. Ilustracija ovih problema biće prikazana na modelu dvostrukog, krutog klatna.

Za kliničke primene koje će biti razmatrane u istraživanju, biće razvijeno nekoliko algoritama za računanje kinematike segmenata nogu pri hodu. Ti algoritmi će se zasnivati na različitim kombinacijama senzora i različitim, sofisticiranim postupcima obrade. U disertaciji će se odvojeno rešavati problem kretanja u dve dimenzije i tri dimenzije. Biće opisani eksperimentalni postupci kalibracije senzora, metodi eliminacije drifta, rekonstrukcije trajektorije i drugi algoritmi. Tačnost ovih algoritama će biti prikazana u odnosu na elektrogoniometre, enkodere i sisteme sa kamerama, u zavisnosti od eksperimenta.

U daljem izlaganju će biti prikazani rezultati snimanja na ispitanicima u Institutu za rehabilitaciju „Dr. Miroslav Zotović“ u Beogradu (pacijenti posle moždanog udara), i snimljeni na Klinici za neurologiju Kliničkog centra Srbije u Beogradu (pacijenti sa Parkinsonovom bolešću).

U tezi će detaljno biti prikazani algoritmi za koje smatramo da daju najbolje rezultate ako se kao ulazni podaci koriste signali dobijeni iz mernog sistema sa senzorima koje smo odabrali.

7. Očekivani rezultati i doprinos istraživanja

Osnovni očekivani rezultati istraživanja bi bili sledeći:

1. Analiza primene inercijalnih senzora za proračun parametara hoda: da li je moguće koristiti ih i sa kolikom tačnošću; izbor optimalne kombinacija senzora za kliničku primenu koja daje najbolje rezultate.
2. Važan doprinos će biti istraživanje ograničenja senzora kada je u pitanju analiza hoda kod pacijenata sa velikim oštećenjima motornog obrasca.
3. Opis kliničkog protokola za praćenje efekata terapije pacijenata nakon moždanog udara pomoću razvijenog senzorskog sistema.

4. Opis kliničkog protokola za analizu obrasca hoda pacijenata sa parkinsonizmom, uključujući prepoznavanje poremećaja pri hodu i klasifikaciju poremećaja prema poznatim podtipovima.
5. Redukcija senzorskog sistema na minimalan broj senzora koji će kliničarima dati maksimalan broj informacija o obrascu hoda.

8. Spisak publikacija kandidata:

Radovi u međunarodnim časopisima:

- [1] *Djordjević A.R., **Djurić M.D.**, Tošić D.V., Sarkar T.K., "On compact printed-circuit transmission lines", Microwave and Optical Technology Letters, Nov. 2007, Vol. 49, pp. 2706-2709, ISSN 0895-2477.
- [2] Kojović J., **Djurić-Jovičić M.**, Došen S., Popović M.B., Popović D.B., "Sensor-driven four-channel stimulation of paretic leg: Functional electrical walking therapy", Journal of Neuroscience Methods, June 2009, Volume 181(1), pp. 100-105, (M23).
- [3] Popović M.B, **Djurić-Jovičić M.**, Petrović I., Radovanović S., Kostić V., "A simple method to assess freezing of gait in Parkinson's disease patients", Braz J Med Biol Res, September 2010, Volume 43(9), pp. 883-889, (M23).
- [4] **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, (M21).

Radovi u domaćim časopisima:

- [5] *Djordjević, A.R., **Djurić, M.D.**, "Printed one-dimensional periodic structures for guiding electromagnetic waves", 8th meeting of the Division of Technical Sciences, Serbian Academy of Sciences and Arts, June 2007, Glas of Serbian Academy of Sciences and Arts, Division of Technical Sciences, vol. CDXI, no. 36, pp. 13-33.

Radovi na međunarodnim konferencijama:

- [6] *Djordjević A.R., **Djurić M.D.**, Niccolai L., "Multiband modem antenna for cellular networks", Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) Conference, Syracuse, N.Y., April 19-23, 2004., S06P02.
- [7] **Djurić M.**, "Automatic Recognition of Gait Phases from Accelerations of Leg Segments", Proceedings from the 9th Symposium on Neural network Applications

- in Electrical Engineering, Neurel 2008, 25-27 September, Belgrade, Serbia, ISBN 878-1-4244-2904-2, IEEE Catalog Number: CFP08481-PRT, pp. 121-124, (M33).
- [8] **Djurić-Jovičić M.**, Milovanović I.P., Jovičić N.S., Popović D.B., “Reproducibility of BUDA Multisensor System for Gait Analysis”, Proceedings of IEEE EUROCON 2009, Proceedings pp. 108-11, May 18-23, 2009, St.Petersburg, Russia, (M33).
 - [9] **Djurić-Jovičić M.**, Milovanović I.P., Jovičić N.S., Popović D.B., “Walkaround assisted walking of stroke patients”, Conference Medical Physics and Biomedical Engineering, Sept. 7-12, 2009 Munich, Germany, pp. 299-301, (M33)
 - [10] Milovanović I., **Djurić-Jovičić M.**, “Polymyography during hemiplegic walking: Implications for control of FES”, IFESS 2010, Sept. 8-12, 2010, Vienna, Austria, pp. 203-205, (M22).
 - [11] **Djurić-Jovičić M.**, Jovičić N.S., Milovanovic I., Radovanović S., Kresojevic N., Popović M.B, “Classification of Walking Patterns in Parkinson’s Disease Patients Based on Inertial Sensor Data”, Proceedings from the 10th Symposium on Neural network Applications in Electrical Engineering, Neurel 2010, 23-25 September, pp. 3-6, Belgrade, Serbia, (M33).
 - [12] **Djurić-Jovičić M.**, Jovičić N., Popović D.B., “The Influence of Heel Height on Gait Pattern”, 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, IFMBE Proceedings, vol. 37, isbn: 978-3-642-23507-8, pp. 872-875, Sept. 14-18, 2011 Budapest, Hungary, (M33)

Radovi na domaćim konferencijama:

- [13] *Djordjević, A.R., Niccolai, L., Olćan, D.I., **Djurić, M.D.**, “Miniature GPS antenna with ring resonator”, Proceedings of XII Telfor, 2004, Belgrade, Serbia.
- [14] Jovičić N., **Djurić M.**, Popović D.: “Portable Data Acquisition System for Gait Analysis Based on Bluetooth Communication”, Proceedings of XV Telfor, pp. 484-487, Belgrade, 2007, (M63).
- [15] **Djurić M.D.**, Došen S., Popović M.B., Popović D.B., “Sensors for Control of Assistive System for Restoring of the Walking”, 52. ETRAN Conference, June 2008., Palić, Serbia, ME1.1, <http://etran.etf.rs/etran2008/sekcije.htm>, (M63).
- [16] **Djurić-Jovičić M.**, Milovanović I., Jovičić N., Radovanović S., “Gait analysis: BUDA vs. GAITRITE”, Proceedings of the 53rd ETRAN Conference, June 15-18, 2009, Serbia, ME 2.2. , <http://etran.etf.rs/etran2009/sekcije.htm>, (M63).
- [17] **Djurić-Jovičić M.**, Jovičić N.S., Milovanovic I., Radovanović S., Kresojevic N., Popović M.B, “Classification of Walking Patterns in Parkinson’s Disease Patients Based on Inertial Sensor Data”, Proceedings from the 10th Symposium on Neural

- network Applications in Electrical Engineering, Neurel 2010, 23-25 September, pp. 3-6, Belgrade, Serbia, (M33).
- [18] **Djurić-Jovičić M.**, Milovanović I., Janković M., Dragin A., “Synergies of a gait - Clinical measurements of kinematics and polymiography”, Book of Abstracts from Symposium of clinical neurophysiology with international participation, 8-9.Oct.2010, pp. 49, Belgrade, Serbia.
- [19] **Djurić-Jovičić M.**, Milovanović I., Popović D.B., “Statistical method for gait classification based on data recorded with inertial sensors”, Book of Abstracts from Symposium of clinical neurophysiology with international participation, 4.Nov. 2010, pp. 33, Belgrade, Serbia.
- [20] **Djurić-Jovičić M.**, Miler-Jerković V., “Intra-subject stride-to-stride variability: selecting subject’s representative gait pattern”, Proceedings of the 19th Telecommunication forum, TELFOR 2011, Nov. 22-24, pp. 51-54, Belgrade, Serbia, (M34).
- Publikacije označene * nisu iz oblasti teze.

9. Zaključak i predlog

Na osnovu svega izloženog, Komisija smatra da kandidat Milica Đurić-Jovičić, diplomirani inženjer elektrotehnike, ispunjava sve formalne i suštinske uslove za pristupanje izradi doktorske disertacije. Rezultati do kojih bi kandidat trebalo da dođe, imali bi značajan doprinos u oblasti biomedicinskog inženjerstva. Stoga Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da kandidatu Milici Đurić-Jovičić odobri izradu disertacije pod naslovom „Metode analize signala sa inercijalnih senzora za analizu hoda pacijenata sa oštećenim obrascem hoda”.

U Beogradu, 07.02.2012.

Članovi Komisije:

dr Dejan Popović, dopisni član SANU,
redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

dr Mirjana Popović
redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

dr Vladimir Kostić, redovni član SANU,
redovni profesor Medicinskog fakulteta u Beogradu