

Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду

Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду, на својој 790. седници, одржаној 3. јула 2012. године, именovalo нас је за чланове Комисије за преглед и оцeну докторске дисертације мр Милоша Јовановића, под насловом „Прилог синтези општег модела динамике хуманоидних робота са посебним освртом на спортско-тренажне активности“. Ментор докторске дисертације је проф. др Вељко Поткоњак, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Након увида у достављени материјал, извршили смо процену квалитета и научног доприноса поднете докторске дисертације, на основу које Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду подносимо следећи:

Извештај

1. УВОД

1.1. Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације је „Прилог синтези општег модела динамике хуманоидних робота са посебним освртом на спортско-тренажне активности“. Дисертација је написана на 128 стране А4 формата, које укључују 37 формула, 24 слика, 5 табела, 67 референци и два прилога. Текст је сложен у складу с правилником Универзитета у Београду.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је тему за израду докторске дисертације, под насловом „Прилог синтези општег модела динамике хуманоидних робота са посебним освртом на спортско-тренажне активности“, пријавио 30. марта 2007. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета је 23. априла 2007. године на 759. седници именovalo Комисију за оцeну услова и прихватање теме докторске дисертације. Извештај Комисије и предложена тема за израду докторске дисертације прихваћени су на 760. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета 29. маја 2007. године када је Наставно-научно веће Електротехничког факултета и именovalo ментора тезе. Веће области техничких наука Универзитета у Београду одобрило је рад на овој теми 10. јула 2007. године.

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцeну 24. јуна 2012. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета је 3. јула 2012. године на 790. седници именovalo комисију за преглед и оцeну докторске дисертације.

Након увида у финални текст дисертације комисија је написала овај финални извештај.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Дисертација припада ужој научној области хуманоидна роботика. За ову ужу научну област матичан је Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Кандидат је рођен 1967. године у Мајданпеку. Дипломирао је 1993. године на профилу за Микроелектронику и саставне делове са дипломским радом „Реализација периферијске јединице Интел 8255 по методи стандардних ћелија“ код професора др. Вељка Милутиновића. Магистрирао је 2004 године на тему „Контролер на бази ПЦ технологије за примену код мобилног робота МР-5“ на електротехничком факултету у Београду под руководством ментора проф. Др. Вељка Поткоњака и проф. Др. Вељка Милутиновића. По завршетку студија радио је као хардваре инжењер у приватном предузећу „STANCO“

Петровац на Млави на пословима пројектовања алармних система и одржавања ПЦ система од 1993. до 1994. године. Запошљава се у Институту “Михајло Пупин” лабораторија за Мехатронику од 1994. године и ради на више пројеката из области аутоматизације у индустрији као ембедед хардвер-софтвер инжењер на микроконтролерима серије Интел 51 и ПЦ платформама. Од 1998. до 2002. године радио по уговору у фирмама “Engineering Services Inc”, Торонто, Онтарио, Канада и “VIRTEC Vision Inc”, Торонто, Онтарио, Канада као ембедед хардвер инжењер на пословима пројектовања и реализације роботских контролера као и пројектовања и реализације серије ПЦ-104 модула за роботске контролере.

Учествовао је на више пројеката технолошког развоја Министарства за науку Републике Србије од којих се издвајају:

1. Симулациона и експериментална платформа за пројектовање и управљање сервисним роботима, бр. пројекта: МИС.3.04.0019.А, 2001 - 2004.
2. Динамика и управљање хуманоидним роботима високих перформанси: теорија и примена, бр. пројекта: ТР-6315Б, 2005 - 2007.
3. Развој хуманодног робота високих перформанси, бр. пројекта ИП 2891 2006-2007.
4. Хуманоидни роботски системи - теорија и примене, евиденциони број ТР – 14001А 2008-2011.
5. Истраживање и развој амбијентално интелигентних сервисних робота антропоморфних карактеристика, Евиденциони број – ТР35003, 2011-2014.
6. Развој робота као средства за помоћу превазилажењу тешкоћа у развоју деце – евиденциони број: ИИИ 44008, 2011-2014.

Тренутно је учесник и трипартитног међународног пројекта (Швајцарска ЕПФЛ-Лозана, Србија ИМП Београд, Румунија Универзитет Клуж, Клуж) под називом: “CARE-robotics” supported by SNSF SCOPES IP program under the grant IZ74Z0_137361/1. 2011-2014.

До 2012. године сам или са коауторима је објавио 20 радова на домаћим и иностраним конференцијама и 8 радова у иностраним часописима од чега 6 радова у водећим међународним часописима са СЦИ листе. Неки од ових радова су настали као резултат рада на овој дисертацији. Аутор је и коаутор више техничких решења и као коаутор-власник три призната патента. Према званичном SCOPUS индексу цитираности мр Милош Јовановић је цитиран 18 пута.

Тренутно је запослен у Институту “Михајло Пупин” центар за Роботику као водећи инжењер и истраживач сарадник.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Структура и садржај дисертације

Дисертација садржи насловну страну (на српском и енглеском језику), три потписане изјаве (у складу с правилником Универзитета у Београду), страну са информацијама о ментору и члановима комисије, резиме (на српском и енглеском језику), садржај, 6 поглавља, литературу, два прилога и биографију кандидата. Наслови поглавља су: 1. Увод, 2. Анализа досадашњих резултата у свету, 3. Динамички баланс хуманоидних система, 4. Основне поставке општег модела, 5. Анализа и симулација скока у даљ, 6. Закључак, Прилог 1 и Прилог 2. По структури и садржају, поднети рад задовољава све стандарде за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље (Увод) даје главне карактеристике и циљеве истраживања у области хуманоидне роботике и биомеханике. Приказани су главни правци истраживања у хуманоидној роботичкој и биомеханици, њихово међусобно прожимање и добробит обједињавања резултата који ове две научне области дају. Посебно је подвучено истраживање и реализација такозваних динамички одрживих кретања хуманоидних система који омогућавају реализације великог спектра кретања налик људском, не само у свакодневним активностима већ и такозване специфичне врсте кретања као што су разноврсна спортска кретања и спортски задаци који првенствено интересују биомеханику са становишта остваривања како врхунских спортских резултата тако и кроз рехабилитационе активности услед повреда или болести.

У другом поглављу извршена је анализа досадашњих резултата у области биомеханике спортских кретања са посебним освртом на скок у даљ из места. У том циљу је анализирано 30 радова и дата упоредна анализа сваког од анализираних радова са резултатима и доприносима. Приказане су најинтересантнији резултати, табеларно и у графичком облику, посебно одабраних радова ради упоредне анализе са резултатима дисертације.

У трећем поглављу је анализиран раније уведени појам динамичког баланса хуманоидних система. Дата је детаљна анализа динамичког баланса са аспекта регуларног и нерегуларног начина кретања хуманоидних система. Приказана је веза између спољашње и унутрашње синергије током кретања хуманоидних система и детаљно су анализирани услови за одржавање динамичког баланса у односу на различите типове кретања. Извршена је систематизација и проширен је појам динамичког баланса на широку класу хуманоидних кретања и показано је да је Тачка нула момента (ZMP) мера одржавања динамичког баланса током било каквог кретања хуманоидног система. По први пут су установљени минимални услови за успостављање и одржавање динамичког баланса хуманоидног система. Показано је да је могућ и такозвани неуравнотежени ход али да такав ход не омогућава извршавање планираних „спољашњих“ задатака.

У четвртом поглављу дат је осврт на усвојену методу генералног приступа моделовању хуманоидних система са посебним освртом на припрему моделовања скока у даљ из места. Дате су основне карактеристике слободнолетећег механизма (flier-a – летача), објашњена је његова динамика и како се остварује контакт. Објашњене су фазе кретања оваког система и дате карактеристике сваке фазе са ограничењима и условима.

У петом поглављу дата је анализа и приказани су резултати одабраног спортског кретања, симулације скока у даљ из места. Дате су карактеристике генералног модела са 20 степени слободе и приказани симулациони резултати. Посебна пажња посвећена је контакту и то специфично контакту стопала са подлогом приликом доскока. Разматране су све врсте контакта које могу да буду остварене. Резултати симулације дати су табеларно, скеч дијаграмом и дијаграмима сила и момената у најзначајнијим зглобовима. Симулирано је неколико углова одскока и више погонских момената да би се добила што реалнија слика дужине скока у зависности од улазних параметара система. На основу оваквих симулационих резултата који до сада нису моделовани и детаљно анализирани, могуће је даље извући закључке о оптерећењима у зглобовима реалног атлетичара и адекватним тренингом побољшати дужину скока.

У шестом поглављу (Закључак) су сумирани резултати рада, изложени доприноси истраживања и предложен је даљи правац истраживања.

У Прилогу 1 дат је листинг улазних података хуманоидног модела (flier-a – летача) потребних за симулацију скока у даљ из места.

У Прилогу 2 дати су динамички параметри сегмената симулираног хуманоидног система за дату симулацију скока у даљ из места.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Људски ход је један веома сложен тип кретања. Иако се задатак описа двоножног, људског хода чини једноставан, на многа питања везана за опис и реализацију вештачког хода још увек није дат свеобухватан задовољавајући одговор.

Ходајући роботски механизми су у општем случају веома сложени системи са великим бројем степени слободе. Велики број степени слободе омогућава извођење великог броја покрета с једне стране, али и поставља проблем одређивања оптималног покрета у одређеној ситуацији као и одржавање динамичког баланса целог система током кретања. Имајући све то у виду, јасно је да је за проучавање таквих механизма неопходан софтвер који ће бити у стању да обезбеди релевантне симулационе резултате.

Једно такво језгро општег математичког модела је већ успешно софтверски реализовано. Као потврда ваљаности реализованог модела представљено је неколико различитих примера чији су симулациони резултати добијени применом општег модела. Кроз те примере, општи модел је успесно верификован понављањем резултата добијених коришћењем раније реализованог математичког рачунарског модела и показана је његова примена на решавање неколико разноврсних конкретних типова задатака.

Резултат дисертације представљају проширење и побољшање општег модела и примена на биомеханику људског кретања - на нове типове спортских и тренажних задатака човека и робота. Оптимизација и убрзање поступка као и увођење нових софтверских реализација су такође, нови резултати. Симулација и анализа партикуларног типа спортских задатака који до сада нису анализирани јесу тежиште предложене теме. Овде се подразумева и дубља анализа симулираног спортског задатака. Из опште анализе предвиђеног спортског задатка уочени су посебно интересантни проблеми, у оквиру појединих спортско-тренажних активности који захтевају дубљу анализу и појашњење (посебни покрети при тренингу ради бољих резултата или ради смањења оптерећења). Анализирано је увођење нових типова сензора ради одржавања динамичког баланса робота током спортских активности (акцелерометри, жироскопи) који у садејству са сензорима силе треба да допринесу очувању динамичког баланса током спортских активности када је хуманоидни систем у контакту са подлогом, као и када долази до одсуства контакта током спортских активности (скок, пад, извођење фигуре), и када се очекује поновно успостављање контакта.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Наведену литературу можемо поделити у неколико група. Прву групу чини литература која се бави досадашњим резултатима у области биомеханике хуманоидних, посебно спортских и спортско-тренажних кретања. Затим је ту група радова који се баве динамичким балансом и стабилношћу хуманоидних система уопште и на крају је група радова-публикација који су проистекли из ове дисертације. Све ове референце адекватно покривају најважније резултате релевантне за ову дисертацију.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Циљ рада проистекао је из потребе ефикасније анализе хуманоидних кретања, симулације и реализације. Напредовање ка томе циљу одвијало се у етапама, кроз заокружен низ корака: осмишљавање начина за унапређење постојећег решења, развој математичког модела према усвојеној идеји, израда програмског кода на основу математичког модела, уклапање новог кода у постојећи, израда симулационог модела и коначно, нумеричке

симулације ради провере основаности почетне идеје. Успешно испуњење постављених циљева сведочи о адекватној употреби научних метода.

3.4. Оцена применљивости и верификације остварених резултата

Резултати дисертације могу се применити за даље проширивање базе симулираних хуманоидних кретања као и за даље продубљивање појма динамичког баланса, услова настака, престанка и одрживости у најразличитијим врстама хуманоидних кретања.

Резултати дисертације су верификовани кроз нумеричке симулације.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је показао способност за самостални научни рад, почевши од систематизације и критичког осврта на постојеће методе, преко уочавања актуелних проблема, развоја оригиналних метода, њихове вишеструке провере, све до зрелог приказивања постигнутих резултата у радовима, од којих је више њих објављено у врхунским међународним часописима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни допринос истраживања, који је објављен у часописима са SCI листе (за које се рачуна impact factor) су:

- Проширење и продубљење појма динамичког баланса, увођење метода за утврђивање постојања динамичког баланса, губитка динамичког баланса и услова за његово поново успостављање.
- Проширење базе резултата модела генералног приступа моделовању хуманоидних система моделовањем и симулацијом посебно атрактивног спортског кретања, скока у даљ из места.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Описивање кретања хуманоидних система јесте захтеван и неизвестан истраживачки задатак. Сама структура хуманоидног система као и њене динамичке карактеристике захтевају пажљиву анализу. Реализација одрживих и поновљивих кретања хуманоидних система и евентуалано извршавање спољашњих задатака које хуманоид треба да оствари, увођењем и проширењем појма динамичког баланса за различите типове људског кретања, може бити доста олакшано. Тиме је почетни циљ хуманоидне роботике умногоме реалнији. Проширење базе моделованих кретања путем генералног приступа моделовању хуманоидних система довешће до бољег разумевања стања хуманоидног система, његових ограничења и могућности, а узајамно садејство хуманоидне роботике и биомеханике може довести до бољих спортских резултата у врхунском спорту као и до брже и квалитетније рехабилитације повреда и акутних и хроничких обољења везаних за локомоторни систем човека. Резултати истраживања у том погледу оправдавају почетна очекивања, а истовремено указују на нове правце развоја који се могу предузети.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

Проширење појма динамичког баланса допринеће даљем разумевању кретања хуманоидних система уопште. Будуће реализације ће свакако узимати у обзир одрживост и успостављање динамичког баланса ради остварења задатог циља.

Проширење методе генералног приступа моделовања хуманоидних систем допринеће даљим симулационим резултатима и будућој верификацији на реалним системима. Генерални

модел са својим очигледним предностима ће постепено преузимати значајну улогу у моделовању хуманоидних система и њихових кретања.

4.4. Верификација научних доприноса

Кандидат је објавио више радова везаних за дисертацију, чији су резултати директно ушли у дисертацију или су тесно везани са истраживањима у дисертацији.

5 радова су објављени у часописима ранга M21 и M23 према категоризацији Министарства просвете и науке Републике Србије:

1. Vukobratovic, M., Herr, H., Borovac, B., Rakovic, M., Popovic, M., Hofmann, A., **Jovanovic, M.**, Potkonjak, V.; "Biological Principles of Control Selection for a Humanoid Robot's Dynamic Balance Preservation", *Intl. Journal of Humanoid Robotics*, Vol. 5, No.4, 639-678, 2008. Impakt faktor za datu godinu 0.542, Doi No: [10.1142/S0219843608001601](https://doi.org/10.1142/S0219843608001601)
2. Vukobratovic, M., Borovac, B., Potkonjak, V., **Jovanovic, M.**; "Dynamic balance of humanoid systems in regular and irregular gaits: an expanded interpretation", *Intl. Journal of Humanoid Robotics*, Vol. 6, Issue 1, pp. 117-145, 2009. Impakt faktor za datu godinu 1.230, Doi No: [10.1142/S0219843609001668](https://doi.org/10.1142/S0219843609001668)
3. Potkonjak, V., Tzafestas, S., Vukobratovic, M., Milojevic, M., **Jovanovic, M.**; "Humanand-Humanoid Postures Under External Disturbances: Modeling, Simulation, and Robustness. Part 1: Modeling", *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, Springer-Verlag Dordrecht, Vol. 63, No2. pp. 191-210, 2011. Impakt faktor za datu godinu 0.757, Doi No: [10.1007/s10846-010-9517-5](https://doi.org/10.1007/s10846-010-9517-5)
4. Vukobratovic, M., Milojevic, M., Tzafestas, S., **Jovanovic, M.**, Potkonjak, V.; "Humanand-Humanoid Postures Under External Disturbances: Modeling, Simulation, and Robustness. Part 2: Simulation and Robustness", *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications* Springer-Verlag Dordrecht, Vol. 63, No 2. pp. 211-231, 2011. Impakt faktor sa datu godinu 0.757, Doi No: [10.1007/s10846-010-9525-5](https://doi.org/10.1007/s10846-010-9525-5)
5. **Jovanovic, M.**; "Human Long Jump - A Deductive Approach", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, in press; 2012. Impakt faktor za datu godinu 0.326, Doi No: [dx.doi.org/10.5772/51036](https://doi.org/10.5772/51036)

На конференцијама су презентовани следећи радови:

1. **Jovanović, M.**; "Improved Kinematics Simulation Model of General Human and Humanoid Motion", Proc. 4-th Serbian-Hungarian joint Symposium on Intelligent Systems, pp 107-117, 29-30, september, 2006, Subotica.
2. Vukobratović, M., Potkonjak, V., **Jovanović, M.**; "Preservation of Dynamic Balance of Humanoid Robots", 53. Konferencija ETRAN, Proceedings of the 53. ETRAN.; RO1.8-1 - RO1.8-4, 2009.
3. Vukobratović, M., Potkonjak, V., **Jovanović, M.**; "N. A. Bernstein - Pioneer in the field of Feedback Control", Proc. ETRAN 2010. June 7-11, Donji Milanovac, RO1.9-1-3, 2010.
4. **Jovanovic, M.**, Potkonjak, V.; "Human Long Jump Simulation Using Deductive Approach", Zbornik radova 55. Konferencije ETRAN Banja Vrucica, RO 1.4 1-4, 2011.
5. **Jovanović, M.**, Despotović, Ž.; "NAO humanoidni robot visokih performansi", Zbornik radova 56. Konferencije ETRAN Zlatibor 11-14 jun 2012, RO 2.6 1-4, 2012.

Треба напоменути да се очекује публикавање још неких доприноса ове дисертације у часописима са SCI листе (за које се рачуна импакт фактор).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

5.1. Кратак осврт на дисертацију у целини

Предмет истраживања ове дисертације је динамички баланс хуманоидних система, услови за његово одржавање, методе којима се може утврдити када долази до губитка динамичког баланса и услови под којима се динамички баланс може поново остварити. Такође је предмет истраживања ове дисертације и проширење скупа моделованих кретања путем генералног приступа моделовању хуманоидних система, анализом једног специфичног спортског покрета, скока у даљ из места. Дисертација је написана јасно и разумљиво, у складу са стандардима Електротехничког факултета и Универзитета у Београду.

5.2. Предлог Комисије Наставно-научном већу

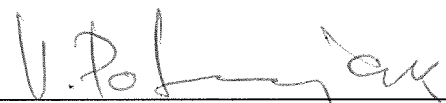
Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

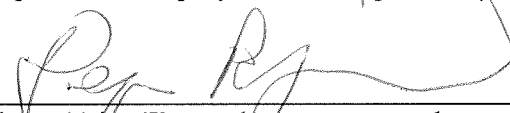
Комисија сматра да докторска дисертација мр Милоша Јовановића, под насловом “Прилог синтези општег модела динамике хуманоидних робота са посебним освртом на спортско-тренажне активности”, садржи оригиналне научне доприносе.

У складу са тим, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да ову дисертацију прихвати и одобри њену усмену јавну одбрану.

У Београду, 11. септембра 2012. године.

Чланови Комисије:


Проф. др Вељко Поткоњак, редовни професор (ментор)
Електротехнички факултет Универзитета у Београду


Проф. др Дејан Поповић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду


др Александар Родић, научни саветник
Институт „Михајло Пупин“, Београд