

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2523/5
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)30.11.2017.
(Датум)

З А Х Т Е В
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

**ПРОЈЕКТОВАЊЕ САВРЕМЕНИХ СИСТЕМА УПРАВЉАЊА РОБОТА ПРИМЕНОМ
РАЗВОЈНИХ ПРОГРАМАБИЛНИХ СИСТЕМА И САВРЕМЕНЕ ТЕОРИЈЕ РАЧУНА
НЕЦЕЛОГ РЕДА**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Механика

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног родитеља и презиме кандидата: БОШКО (ПРЕДРАГ) ЦВЕТКОВИЋ
- Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд
- Година дипломирања: 2008.
- Назив магистарске тезе кандидата: _____
- Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____
- Година одбране магистарске тезе: _____
- Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2010Обавештавамо Вас да је _____
Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 30.11.2017
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Прилог:

- Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
- Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 2523/5
Датум: 30.11.2017. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Бошка Цветковића**, дипл. инж.маш., бр. 2523/1 од 16.10.2017. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Михаило Лазаревић, ред. проф., др Немања Зорић, доц. и др Томислав Шекара, ред. проф., број 2523/4 од 27.11.2017. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 30.11.2017. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **БОШКО ЦВЕТКОВИЋ**, дипл. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ПРОЈЕКТОВАЊЕ САВРЕМЕНИХ СИСТЕМА УПРАВЉАЊА РОБОТА ПРИМЕНОМ РАЗВОЈНИХ ПРОГРАМАБИЛНИХ СИСТЕМА И САВРЕМЕНЕ ТЕОРИЈЕ РАЧУНА НЕЦЕЛОГ РЕДА»**.

За ментора студенту **Бошку Цветковићу**, именује се **др Михаило Лазаревић, ред. проф.**

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Бошка П. Цветковића** за израду докторске дисертације

Одлуком **Наставно-научног већа** бр. **2523/2** од **09.11.2017.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Бошка П. Цветковића**, дипл.инж.маш, студента Докторских студија, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Пројектовање савремених система управљања робота применом развојних програмабилних система и савремене теорије рачуна нецелог реда“.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Бошко Цветковић рођен је у Београду, 30. 3. 1976. од оца Предрага Цветковића (ред. проф. у пензији Саобраћајног факултета Универзитета у Београду) и мајке Јованке Вагнер-Цветковић (проф. српскохрватског језика и књижевности). Основну школу „Милица Павловић“ на Врачару завршио је 1990. године а Математичку гимназију „Вељко Влаховић“ у Београду 1994. године. Током школовања постигао је запажене резултате на градским и републиким такмичењима из математике и физике. Добитник је више награда, међу којима су и „*Михаило Петровић-Алас*“, „*Светозар Марковић*“ и „*Никола Тесла*“. Дипломирао је на Машинском факултету у Београду, одсек за Аутоматско управљање, 2007. године са просечном оценом 7.89. Дипломски рад у области система аутоматског управљања под називом „*Динамичка анализа линерних сингуларних система са позиција примене генералисаних инверзија*“, одбранио је са оценом 10. Дипломске студије завршио је по старом наставном плану и програму.

Докторске студије уписао је школске 2010/2011. године на Машинском факултету Универзитета у Београду, (потенцијални ментор, проф. др Михаило Лазаревић, Катедра за Механику). Тренутно је на трећој години докторских студија, и има положене све испите који су предвиђени планом и програмом докторских студија. Године 2011 објавио је свој први научни рад у часопису *FME Transactions*.

У фирми *Stucke Elektronik* запослен је од 2007. године где ради на пројектовању система аутоматског управљања и програмирању ПЛЦ уређаја. Води развојни тим задужен за програмирање хардвера и софтвера. Програмске језике које кандидат активно користи су Keil C, C, C++, C#. Такође, кандидат има искуства у примени и програмских језика PHP,

MySQL, HTML, Javascript за потреbe развоја одговарајућих web алата. Од 2012. до 2014. био је стручни консултант у области софтвера Министарства рада и социјалне политике Србије под покровитељством Светске банке за развој.

Члан је Менсе Србија и *Mensa International* од 1996. године. Одслужио је редован војни рок од септембра 2003. до јуна 2004. године у Суботици. Кандидат је завршио вишемесечне међународно признате пословне курсеве NLP Bussiness Practicioner, NLP Master Practicioner и Врхунски комуникатор и добио сертификате истих.

Такође, током школовања завршио је велики број курсева енглеског језика по програму Кембриџ универзитета и курсеве немачког језика по програму Гете универзитета, тако да кандидат активно користи енглески и немачки језик, (читање, писање и комуникација).

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Бошко Цветковић уписао је Докторске академске студије на Машинском факултету у Београду школске 2010/2011. године. Положио је све испите предвиђене Програмом усавршавања са просечном оценом 10. Осим обавезних предмета (Виши курс математике, Нумеричке методе, Одабрана поглавља из механике, ОМНИРиК), положио је следеће изборне предмете:

- Динамика система крутих тела (проф. др М. Лазаревић);
- Изабрана поглавља из механике робота (проф. др М. Лазаревић);
- Рачун нецелобројног реда са применама у инжењерству (проф проф. др М. Лазаревић);
- Аналитичка механика (проф. др О. Јеремић).
- Мерења деформација и напона (проф. др Т. Манески);

Осим тога, положио је четири лабораторијска предмета (Истраживање и публикавање I, II, III и IV). Пројекат идеје докторске дисертације Бошко Цветковић је одбранио пред комисијом у саставу проф. др М. Лазаревић-потенцијални ментор, проф. др Н. Зорић, проф. др Т. Шекара. Као резултат истраживања, кандидат је објавио 9 радова у часописима и на скуповима међународног и националног значаја.

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M24)

- [1] **Cvetković B.**, Kuzmanović D., Cvetković P., *An Application of Continuum Theory on the Case of One-Dimensional Sedimentation*, FME Transactions(ISSN 1451-2092),Vol. 39,No.2, pp. 61-65, University of Belgrade-Faculty of Mechanical Engineering, 2011.
http://www.mas.bg.ac.rs/_media/istrazivanje/fme/vol39/2/03_bpcvetkovic.pdf
- [2] М. Ћ. Бошковић, Т. В. Шекара, М. Радловић, **B. Cvetković**, *“A novel method for optimization of PID/PIDC controller under constraints on phase margin and sensitivity to measurement noise based on non-symmetrical optimum method”*, ETF Journal of Electrical Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 15-23, ISSN: 0354-8653, Fac. of Elec. Eng., University of Montenegro, 2016. Web: http://www.jee.ac.me/index.php?id=22_2016.

Радови саопштени на скуповима међународног значаја штампани у целини (M33)

- [3] **Cvetković B.**, М. Lazarević, Т. Maneski, Р. Mandić, В. Lutovac, Т. В. Шекара, *Data acquisition using single board computer raspberry PI model b*, Informacione tehnologije XXI, pp. 57 - 60, Univerzitet Crne Gore Elektrotehnički fakultet, Žabljak, 2016, pp. 69-73.
- [4] Т. Шекара, М. Бошковић, М. Радловић, **B. Cvetković**, *A novel method for optimization of PIDC regulators under constraints on phase margin and sensitivity to measurement noise*,

Informacione tehnologije XXI, pp. 57 - 60, Univerzitet Crne Gore Elektrotehnički fakultet, Žabljak, 2016.

- [5] **Cvetković B.**, Lazarević M., Djurović N., Mandić P.: *Open-closed loop fractional-order iterative learning control for singular fractional-order system*, -International Conference on Fractional Differentiation and its Application, 18-20 July 2016, Novi Sad, Serbia, pp.404-414, ISBN: 978-86-7892-830-7.
- [6] Lazarević M., Mandić P., **Cvetković B.**, Šekara, T., Lutovac, B.: *Some electromechanical systems and analogies of mem-systems integer and fractional order*, 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, 12-16 June 2016, Bar, Montenegro, pp. 230-233, DOI: [10.1109/MECO.2016.7525748](https://doi.org/10.1109/MECO.2016.7525748).
- [7] Lazarević M., Đurović N., **Cvetković B.**, Mandić P., Cajić M.: *PD ^{α} -type iterative learning control for fractional-order singular time-delay system*, The 29th Chinese Control and Decision Conference, 28-30 May 2017, Chongqing, China, pp. 1905-1910, DOI: [10.1109/CCDC.2017.7978828](https://doi.org/10.1109/CCDC.2017.7978828).
- [8] Lazarević M., Đurović N., Cajić M., **Cvetković B.**, Mandić P., Bučanović Lj., *Feedback PD ^{α} type iterative learning control for fractional-order human arm-support nonlinear system*, ENOC2017, ISBN 978-963-12-9168-1, 25-30 June, ID 353, pp.1-2.

Радови објављени у часописима од националног значаја (M52)

- [9] Lazarević M., Đurović N., **Cvetković B.**, Mandić M., Bučanović Lj., *Fractional-order Iterative Learning Control for Singular Fractional order System: (P)- PD ^{α} Type*, Scientific Technical Review, 2016, Vol.66, No.3, pp.40-49.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током докторских студија Бошко Цветковић, дипл. инж. маш. студент Докторских студија, положио је све испите предвиђене планом докторских студија (45 ЕСПБ) који укључују и лабораторијски рад (53 ЕСПБ) и одбрана пројекта идеје докторске дисертације (22 ЕСПБ) што у укупном износу даје 120 ЕСПБ бодова чиме је остварио услов да му се одобри израда докторске дисертације. Током својих досадашњих истраживачких активности, кандидат је показао заинтересованост и афинитет за научно истраживачки рад. Научни радови публиковани у међународним и домаћим часописима, радови презентовани на међународним и националним научним скуповима указују на смисао кандидата за бављење теоријским и експерименталним истраживањима и квалификују га за даљи успешан самосталан рад на предложеној докторској дисертацији.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у оквиру докторске дисертације са предложеном темом је пројектовање (унапређење) савремених система управљања роботских система применом развојних програмабилних система и управљање истих применом савремених управљачких алгоритама који се ослањају на примену савремене теорије рачуна нецелог реда као што су алгоритми итеративног управљања путем учења (ИУУ) целог/нецелог реда и пропорционално-интегрално-диференцијални (ПИД) алгоритми целог/нецелог реда.

У дисертацији биће посвећена посебна пажња на примени савремене теорије фракционог рачуна (рачуна нецелог реда) у горе наведеној области истраживања. Наиме, већ више од четрдест година примена рачуна нецелог реда (*fractional calculus*) привлачи пажњу научне и стручне јавности широм света. Први пут рачун нецелог реда са јавља око краја 17. века и везују се за кореспонденцију која је остварена између Лопитала и Лајбница, и то у време када

су Њутн и Лајбниц постављали основе диференцијалног и интегралног рачуна. Касније, овом рачуну је посвећивана извесна пажња од стране многих познатих математичара и научника тог доба све до двадесетог века, међу којима су Ојлер, Риман, Лиувил, Абел, Фурије. Тек од седамдесетих година двадесетог века, долази до пуног развоја примене рачуна нецелог реда са тенденцијом непрекидног раста примене по обиму и броју публикованих научних радова, књига, конференција. Последњих деценија примена рачуна нецелог реда привлачи пажњу све веће научне јавности у различитим гранама: математици, физици, техници, итд. Изворно, фракциони рачун (рачун нецелог реда) је област математичке анализе која се бави изучавањем и применом извода и интеграла произвољног реалног или комплексног реда. То је генерализација класичног интегро-диференцијалног рачуна, где оператори интегралнења и диференцирања имају целобројан степен. Примена и присуство рачуна нецелог реда у свим гранама науке и технике више је него евидентно јер омогућава да се уочени системи квалитетније, боље моделирају, односно развију и примене квалитетнији системи управљања и у том смислу бројни научни радови и обимна публицистичка делатност у пуној мери су исказали интерес који је за њих био показан. Другим речима, рачун нецелог реда се последњих деценија све више примењује у моделирању и анализи својстава динамике механичких система, решавању све сложенијих задатака управљања, стабилности система, опису конститутивних релација савремених материјала и структура са својствима вискоеластичности и др.

Имајући у виду горе наведено, очекује се да се овде реализује квалитетније управљање разматраним лабораторијским роботским системом *Неуроарм* управо применом савремене теорије нецелог реда, посебно ПИД алгоритама нецелог реда, као и алгоритама итеративног управљања путем учења (ИУУ). Такође један од циљева биће и тежња да се истовремено смање трошкови саме реализације управљања коришћењем веома повољних програмабилних развојних система и програма за симулацију управљања. Са друге стране, користиће се и савремени приступ у моделирању датог роботског система тзв. Родригов приступ уз истовремену примену теорије сингуларних система и рачуна нецелог реда чиме ће бити омогућено добијање напредних модела роботског система који раде у све захтевнијим условима рада односно реализују све сложеније задатке. Овде ће бити од значаја добити у погодном облику на пример инкрементални облик модела роботског система који ће бити погодан за ефикасну реализацију управљања истим. Резултати овог истраживања који ће бити приказани у овој докторској тези омогућиће примену истих и на остале роботске системе (мобилни *Лего* робот) са циљем побољшања њиховог управљања. Наиме, *Неуроарм* је напредни роботски систем који поседује роботску руку са седам степени слободе која је опремљена одговарајућим сензорима и хватаљком. Роботским системом управља седам 16-битних процесора и један 32-битни Core Embedded PC са оперативним системом Linux. Шест мотора су предвиђена за реализацију ротационог кретања одговарајућих сегмената док је седми предвиђен за реализацију трансляционог кретања у оквиру врха хватаљке. Подржан је различитим софтвером који укључује C++, и друге библиотеке и протоколе ниског нивоа за управљање зглобовима робота као и сензорима.

При решавању задатка напредног управљања користиће се математички модел роботског система који је добијен уз помоћ савремене теорије динамике система крутих тела (*Родригов приступ*) и теорије сингуларних система уз истовремену подршку софтверске технологије где се очекује добијање адекватног математичког модела роботског система *Неуроарм* који би био погодан за примену уграђених система. Затим је потребно спровести анализу функционалног рада појединих подсистема, одговарајућих изведених решења и варијантних решења везаних за избор оптималног концепта у управљању, идентификацији и класификацији (под)задатака управљања значајних за развој напредних алгоритама управљања разматраног роботског система.

Овде је од интереса унапредити постојећу структуру система управљања роботских система тако да је неопходно спровести компаративну анализу одговарајућих развојних програмабилних система узимајући у обзир постављене захтеве и ограничења, са циљем

избора адекватног тзв. уграђеног (*embedded*) система у оквиру постојећег роботског система. Разматраће се и упоредити програмабилни развојни системи *Raspberry Pi*, *Beaglebone Black*, *Arduino*, *Teensy*, са додатним сензорима. То захтева и одговарајућу подршку и примену програмских језика и алата Python, C, C++, C#, PHP, HTML, Javascript, MATLAB, Simulink.

При томе у циљу повезивања са рачунаром постојећег роботског система *Неуроарм* као и са самим роботским системом потребно је унапредити адекватан протокол за комуникацију, чиме ће се омогућити ефикасна аквизиција података са сензора као и сама реализација управљања истог, што ће бити урађено применом Ардуино програмабилне развојне платформе. Затим ће се применити одабрани програмабилни развојни систем, и за његову даљинску контролу роботског система применом VPN-а, Web server-а и визуелне контроле преко веб камере. Такође, извесна пажња биће посвећена и примени екстерног Ардуина и уз употребу симулације роботске руке преко рукавице може се реализовати још један начин управљања роботског система.

У другом делу докторске дисертације биће разматрана проблемитка синтезе напредног управљања роботских система (*Неуроарм*, *Лего робот*). Наиме, у литератури се може наћи велики број различитих управљачких алгоритама за роботске системе где свакако најзначајније место заузимају ПИД алгоритми. Овде се предлаже увођење и примена ПИД алгоритама нецелог реда као једна генерализација класичних алгоритама ПИД целог реда јер омогућава већи број подешљивих параметара, чиме се омогућава синтеза ефикаснијег и добијање робуснијег система управљања. С друге стране, потребно је спровести и адекватан одабир броја подешљивих параметара имајући у виду прецизност праћења и/или позиционирања у радном простору роботског система уз ефикасно потискивање поремећаја, уз истовремено очување стабилности и робусности што по самом себи представља један од изазовних (под)задатака који треба решити.

Такође, биће размотрена и примена интелигентног управљања тј. итеративног управљања учењем ИУУ. Наиме, уочено је да је код извођења манипулационих задатака и при понављању једне исте трајекторије у радном простору, могуће побољшати кинематичке и динамичке карактеристике датог система тако да примена управљања путем учења је изузетно погодна јер оно представља један итеративни *offline* процес где постоји коначно време између два покушаја. На тај начин, учи се на основу претходног покушаја и искуства. Овде од интереса биће управљање једне шире класе система тзв. сингуларних система који се могу представити као једна шира класа тј. у виду сингуларних система целог/нецелог реда и за такве ће бити спроведена синтеза управљања која истовремено садржи у директној грани (итеративно управљање учењем целог/нецелог реда) и повратној грани (П, ПД, ПИД управљање целог/нецелог реда). Нарочито, разматраће се ИУУ типа П-ПДД, односно тип ПДД-ПДД, јер је тип ПДД-а тип флексибилнији за практичну примену.

Референтна литература:

1. Čović, V., Lazarević, M.P.: *Mehanika robota*, Mašinski fakultet, Beograd, 2009.
2. Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., Oriolo, G.: *Robotics*, Springer-Verlag, London, 2009.
3. Jian-Xin Xu, Sanjib K. Panda, Tong H. Lee, *Real-time Iterative Learning Control Design and Applications*, Springer-Verlag, London, 2009.
4. Thomas Bräunl, *Embedded Robotics, Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
5. Lazarević, M., Bućanović, Lj.: *Prilog modeliranju i dinamičkoj analizi sistema necelobrojnog reda sa osnovama racuna necelog reda*, Mašinski fakultet, Beograd, 2012.
6. M. Lazarević, S. Batalov, T. Latinovic, 2013. *Fractional PID Controller Tuned by Genetic Algorithms for a Three DOF's Robot System Driven by DC motors*, 6th Workshop on Fractional Differentiation and Its Applications IFAC Joint Conference SSSC Grenoble, France, February 4-6, pp. 380-385.
7. M. Lazarević, *Iterative learning control for fractional linear time delay system: $PI^\beta D^\alpha$ type*, CHISA2006 Congres, Avg., 27-31, 2006, Prague, Czech Republic, F3.4-283.

8. Lazarević, M., Tzakis, P.,: *Robust second-order PDalpha type iterative learning control for a class of uncertain fractional order singular systems*, Journal of Vibration and Control 2016, Vol. 22(8) 2004–2018.
9. Hamamci, S.E.: *Stabilization using fractional-order PI and PID controllers*. Nonlinear Dynamics 2008; 51:329–43.
10. Ying Luo, YangQuan Chen, *Fractional order motion controls*, John Wiley & Sons Ltd, 2013.
11. M. Lazarević, Editor of, *Advanced Topics on Applications of Fractional Calculus on Control Problems, System Stability And Modeling*, WSEAS, ID 9028, ISBN: 978-960-474-348-3, pp. 202, 2014.

3. Полазне хипотезе

На основу прегледа литературе и сопственог искуства дефинишу се следеће полазне хипотезе у оквиру ове дисертације:

Хипотеза 1:

На основу изучавања литературе и досадашњих истраживања у овој области постављена је хипотеза да се применом рачуна нецелог реда могу реализовати напредни управљачки алгоритми са одговарајућим диференцијално-интегралним операторима нецелог реда у циљу добијања квалитетнијег управљања разматраних роботских система.

Хипотеза 2:

За формирање кинематског и динамичког модела разматраног роботског система са више степени слободе кретања у погодној форми за управљање примениће се Родригов приступ (Родригове матрице трансформација), који је погодан за описивање овог типа механичких система.

Хипотеза 3:

Увођењем одређених претпоставки у поступку добијања реалнијег модела разматраног роботског система могу се применити одговарајући оператори нецелог реда у моделирању појединих делова роботског система у раду истог као и да је могуће применити теорију сингуларних система.

Хипотеза 4:

Исто тако, на основу доступних развојних програмабилних система уводи се хипотеза да је могуће унапредити постојећу структуру система управљања роботских система и пратеће аквизиције података са сензора где је сада могуће спровести компаративну анализу датих развојних програмабилних система узимајући у обзир постављене захтеве и ограничења, са циљем избора адекватног тзв. уграђеног система у оквиру постојећег роботског система.

Хипотеза 5:

Такође, предности савремене теорије рачуна нецелог реда и овде ће доћи до изражаја увођењем алгоритама ИУУ нецелог реда као ПИД регулатора нецелог реда, са пратећом практичном реализацијом чиме ће се добити робуснији роботски систем са бољим перформансама.

4. Научне методе истраживања

Током реализације циљева истраживања користиће се следеће научне методе (теорије):

- Теорија рачуна нецелог реда
- Методе аналитичке механике
- Методе компаративне анализе
- Стандардне методе експерименталног приступа
- Савремене методе оптимизације

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће кроз ову дисертацију успешном реализацијом циљева истраживања и применом поменутих научних метода и поступака, бити остварени следећи научни доприноси:

- Моделовање роботских система и њихових компоненти, са циљем добијања напреднијег математичког модела дат у виду сингуларног система целог/нецелог реда
- Унапређење постојеће структуре система управљања роботских система, са циљем избора и имплементације адекватног тзв. уграђеног система у оквиру постојећег роботског система.
- Развијање и практична имплементација нових алгоритама робусног управљања за дати роботски систем представљен у виду сингуларних система целог/нецелог реда применом итеративног управљања учењем целог/нецелог реда
- Развијање и практична имплементација нових алгоритама ПИД-а применом савремене теорије рачуна нецелог реда за подешавање параметара управљачког система робота са циљем што ефикаснијег потискивања поремећаја, постизања бољих перформанси, уз истовремено очување робусности система.
- Решавање проблема даљинског управљања роботског система уз примену пратеће хардверске и софтверске подршке

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру предложене теме докторске дисертације састоји се од следећих фаза:

- Преглед одговарајуће литературе која се односи на примену актуелне теорије управљања која укључује и савремене теорију нецелог реда, основе теорије сингуларних система и моделирања роботских система у дефинисању нових алгоритама управљања у савременој роботизици.
- Формирање кинематског и динамичког модела разматраних роботских система са више степени слободе кретања применом Родриговог приступа.
- Напредно моделовање датог роботског система и компоненти роботског система применом рачуна нецелог реда и теорије сингуларних система у циљу добијања што веродостојнијег математичког модела.
- У циљу пројектовања савремених, односно унапређења постојећих система управљања роботских система спровођење анализе одговарајућих развојних програмабилних система узимајући у обзир постављене захтеве и ограничења, са циљем избора адекватног тзв. уграђеног (*embedded*) система у оквиру постојећег роботског система и уз истовремени преглед референтне литературе.
- повезивање са рачунаром постојећег роботског система, као и програмирање одабраног(их) развојног програмабилног система као будућег уграђеног система у циљу решавања задатка аквизиције података са постојећих и додатих сензора као и задатака управљања роботског система (лабораторијски роботски систем *NeuroArm-a* , мобилни *Lego робот*).
- применом одабраног уграђеног система реализација напредног управљачког система на бази пропорционално-интегрално-диференцијалног алгоритама (не)целог реда као и алгоритама итеративног управљања учењем (ИУУ) целог и нецелог реда са применом на ширу класу механичких објеката управљања и посебно овде разматране роботске системе који се могу моделирати као сингуларни системи целог/нецелог реда.
- Реализација даљинског управљања лабораторијског роботског система *NeuroArm-a* и *Лего* робота.

7. Закључак и предлог

На основу изложене анализе пријаве теме кандидата Бошка Цветковића, дипл.инж.маш, студента Докторских студија, Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је кандидат успешно положио све испите предвиђене планом усавршавања и објавио научне радове чиме је стекао услов за одобравање теме за израду докторске дисертације. Такође, комисија закључује да је предложена тема актуелна и подобна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све Законом и Статутом Машинског факултета предвиђене услове и има истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату, студенту Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду

Бошку Цветковићу, дипл. инж. маш.

одобри израда докторске дисертације под називом:

**„Пројектовање савремених система управљања робота применом
развојних програмабилних система и савремене теорије рачуна
нецелог реда“**

која припада области техничких наука, машинство, ужој научној области Механика, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За ментора током израде предметне дисертације предлаже се **проф. др Михаило П. Лазаревић**, редовни професор на Катедри за Механику Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 24.11.2017.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Михаило Лазаревић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Немања Зорић, доцент
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Томислав Шекара, редовни професор
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: др Михаило П. Лазаревић

Звање: редовни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Lazarević, M. P.**, Tzekis P., *Robust second-order PDa type iterative learning control for a class of uncertain fractional order singular systems*, Journal of Vibration and Control 2016, Vol. 22(8) 2004–2018, DOI: 10.1177/1077546314562241
2. Mandić P., Šekara T., **Lazarević M.**: M. Bošković: *Dominant pole placement with fractional order PID controllers: D-decomposition approach*, -ISA Transactions, Vol. 67, pp. 76-86, 2017, ISSN 0019-0578, <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2016.11.013>
3. Miljković, Z., Mitić, M., **M. Lazarević**, Babić, B., *Neural Network Reinforcement Learning for Visual Control of Robot Manipulators*, Journal Expert Systems with Applications, pp. 1721-1736, Vol. 40, Issue 5, April 2013, Elsevier, (ISSN 0957-4174), <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.010>.
4. M. Živanović, **M. Lazarević**, *Using the Decomposition Principle to Stabilize the Nominal Motion of a Mechanical System with Given Accuracy*, Automation and Remote Control, 2012, Vol. 73, No 12, 2012, pp. 2001-2020, (ISSN: 0005-1179). doi:10.1134/S0005117912120065, <https://link.springer.com/article/10.1134/S0005117912120065>
5. **M. Lazarević**, *Finite Time Stability Analysis of PD^α Fractional Control of Robotic Time Delay Systems*, Journal of Mechanics Research Communications, Vol. 33, Iss. 2, March-Apr., 2006, pp. 269-279, <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2005.08.010>
6. M. Cajić, **M. P. Lazarević**, *Fractional order spring/spring-pot/actuator element in a multibody system: Application of an expansion formula*, Mechanics Research Communications 62 (2014) 44–56, <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2014.08.009>

(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
