

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА ЗА МЕХАТРОНИКУ И
УПРАВЉАЊЕ



UNIVERSITY OF NIŠ

FACULTY OF MECHANICAL
ENGINEERING

MECHATRONICS AND CONTROL

<http://www.masfak.ni.ac.yu/>

<http://www.masfak.ni.ac.yu/>

NASTAVNO NAUČNOM VEĆU MAŠINSKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U NIŠU

Predmet: **Imenovanje članova Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije Dalibora Petkovića**

Na sednici Katedre za Mehatroniku i upravljanje, održanoj dana 05.04.2012. godine, imenovani su članovi Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije Dalibora Petkovića pod nazivom „Istraživanje i razvoj adaptivnih pasivnih gipkih sistema sa integrisanim senzorima i aktuatorima“ :

1. dr Nenad D. Pavlović, red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu (potencijalni mentor),
uža naučna oblast: Mehatronika
2. dr Aleksandar Veg, red. prof. Mašinskog fakulteta u Beogradu,
uža naučna oblast: Teorija mašina i mehanizama
3. dr Nenad T. Pavlović, vanr. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu,
uža naučna oblast: Mehatronika
4. dr Žarko Čojbašić, vanr. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu
uža naučna oblast: Automatsko upravljanje i robotika
5. dr Miloš Milošević, doc. Mašinskog fakulteta u Nišu
uža naučna oblast: Mehatronika

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Примљено: 05.04.2012			
Орг.јед.	Број	Прилог	Вредности
73	612-256	2012	

Šef Katedre za mehatroniku i upravljanje

dr Nenad D. Pavlović

Универзитет у Нишу
Машински факултет Ниш

Одсеку за наставна и студентска питања Машинског факултета у Нишу
Катедри за Мехатронику и управљање

Предмет

Захтев
за одобрење теме докторске дисертације

Далибор Петковић, дипл. инж. машинства, студент докторских студија на Машинском факултету
Нишу, број индекса 76/08

Поштовани,

Пошто сам према Правилнику о докторским академским студијама Машинског факултета Универзитета у Нишу испунио све услове који су предвиђени за пријаву докторске дисертације, упућујем Већу Катедре за Мехатронику и управљање и Одсеку за наставна и студентска питања Захтев за одобрење теме докторске дисертације.

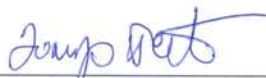
Дипломирао сам 2008. године на Машинском факултету Универзитета у Нишу. По дипломирању уписао сам докторске академске студије на Машинском факултету Универзитета у Нишу. Током докторских академских студија, по програму из 2007. године, положио сам укупно осам испита са просечном оценом 9.63.

Прелиминарни број ЕСПБ који су остварени током научно-истраживачког рада (према критеријумима дефинисаним Правилником о докторским студијама, члан 20) приказан је у табели 1.

Како сам положио све предвиђене испите, остварио више од 390 ЕСПБ током докторских студија (Правилник о докторским студијама, члан 27) при чему сам остварио више од 10 ЕСПБ током научно-истраживачког рада, стекао сам право да упутим Захтев за одобрење теме докторске дисертације Одсеку за наставна и студентска питања, Машинског факултета у Нишу. Уз захтев прилажем:

Преглед остварених ЕСПБ,
Предлог радног наслова теме дисертације,
Ужу научну област којој припада докторска дисертација
Значај, предмет и научни циљ докторске дисертације, као и методе које ће се применити при истраживању,
Своје основне биографске податке,
Списак објављених и саопштених научних радова

Са поштовањем,



Далибор Петковић

дипл. инж. машинства

15.03.2012, у Нишу

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Примљено: 20.03.2012.			
Орг.јед.	Број	Прилог	Вредности
73	612-214	1	2012

ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ПРЕДЛОГА ТЕМЕ ЗА ИЗРАДУ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Име и презиме, адреса и број телефона кандидата:

Петковић Далибор, с. Горња Јајна, 16000 Лесковац, 064-328-30-48

1. Радни наслов теме докторске дисертације

Истраживање и развој адаптивних пасивних гипких система са интегрисаним сензорима и актуаторима

2. Ужа научна област којој припада докторска дисертација:

Мехатронички системи

3. Предлог ментора са којим је кандидат сарађивао код избора и образложења теме:

Др. Ненад Д. Павловић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Нишу

4. Значај истраживања

За неки систем каже да је адаптиван ако има способност за адаптацију односно ако има могућност да одговори различитим и непознатим (новим) ситуацијама у којима се нађе. Ако посматрамо само адаптивни механички (роботски) систем, онда је он адаптиван ако његова могућност за адаптирање стриктно зависи од његових механичких особина. Другим речима, адаптивни механички систем је систем у коме је нека врста интелигенције уметнута у његову механичку структуру. Код таквог система нису потребни сензори или комплексни контролери за извођење главног задатка пошто ће сам механички систем омогућити тражено адаптивно понашање. Такви системи се често дефинишу као механички интелигентни.

Сви роботски системи се могу поделити у две групе, у системе са пасивном и системе са активном гипкошћу. Код роботских система са активном гипкошћу, додир са спољашним објектима се детектује преко разних екстерних сензора. Роботски системи са пасивном гипкошћу се састоје од механичких компонената као што су опруге које апсорбују превелике спољашње силе додира.

Систем са активном гипкошћу се ослања на утросак доведене спољашње енергије ради мењања карактеристика система и потребна је и додатна управљачка јединица за његово функционисање.

Систем са пасивном гипкошћу представља систем без управљања и може поседовати, поред опруга, вискозни амортизер чије дејство не захтева довођење спољне енергије у циљу мењања

његових карактеристика. Његова функција се заснива на реактивном дејству вискозности тог амортизера. Ове особине пасивних система се могу искористити за пројектовање пасивних роботских механизма као што су роботски зглобови и хватачи. Такви зглобови имају способност мењања крутости када спољашна ударна сила пређе одређену границу. Та особина је погодна за роботе који често долазе у контакт са људима или раде у ризичним ситуацијама и потребно је омогућити додатну безбедност у интеракцији.

Пасивни елементи, као што су опруге, могу се применити код механизма који имају мање актуатора него степени слободе. За такве механизме се каже да су са подактуацијом (имају одређени број непогођених степени слободе). Ови механизми имају небројане предности у односу на традиционалне механизме са потпуном актуацијом укључујући:

- простије управљање,
- високу адаптивност према грешкама сензорике и позиционирања,
- дуги век трајања,
- механичку једноставност и
- ниску цену.

Главна предност методе пасивности са имплементираном подактуацијом је механичка адаптација механизма према облику објекта. Та адаптација се остварује без одређеног управљачког закона, нпр. константни обртни момент актуатора је обично довољан да би се постигла адаптација према облику објекта.

Адаптивни роботски хватач је један од најпознатијих адаптивних роботских система. Према се манипулисање различитим облицима објекта може вршити са универзалним хватачима који имају широке опсеге ширине отвора хватања, у већини случајева се хватачи морају адаптирати према облицима разних непознатих објекта. Нефлексибилност данас доступних хватача је један од лимитирајућих фактора код примене робота па је то условило многа истраживања за развијање флексибилнијих адаптивних хватача.

Познато је да је најбољи хватач људска рука. Постизање способности за адаптацију које има људска рука захтева управљање великим бројем актуатора и сензора.

Значајни покушаји су урађени како би био добијен модел хватача који је довољно једноставан за лаку израду и управљање односно како би био добијен практичан адаптивни хватач. Како би се превазишао ограничени напредак код ранијих модела (већином захваљујући превисокој цени управљачке архитектуре неопходне за комплексне механичке системе са често више од 10 актуатора и много сензора), у овом раду је постављено за циљ да се редукује број потребних актуатора. Та стратегија смањења броја актуатора док се истовремено задржавају способности хватача да се адаптира облику кривине објекта (повећање броја контактних тачака) може се дефинисати као подактуација.

5. Предмет истраживања

Предмет истраживања у докторској дисертацији биће истраживање и развој адаптивних пасивних гипких система са интегрисаним сензорима и актуаторима. Конкретно биће развијен:

- механизам роботског зглоба са пасивном гипкошћу и
- структура роботског хватача са особинама пасивности, адаптивности и гипкости.

Зглобови који се користе у роботизици обично се деле на круте и пасивне гипке зглобове. Роботи са крутим зглобовима имају велику тачност, али је њихов контакт са спољашњим објектима релативно груб. Насупрот њима, пасивни гипки зглобови осигуравају меке контакте са окружењем, нарочито ако су у контакту са људима, али је немогуће прецизно одредити тренутни положај чланова зглоба или смер дејства спољашње ударне силе.

Већина робота има зглобове који имају врло мало еластичних особина, како би тиме осигурали велику прецизност. Међутим када машине често долазе у контакт са људима, важно је управљати ударним силама како би се смањило ризик од повреда што се може постићи применом гипких зглобова. Такви зглобови имају омогућено повратно кретање, које омогућава зглобу да се помери уназад (помоћу еластичне отпорне силе) када робот дође у контакт са спољашњим објектом. Код роботских гипких зглобова, главне саставне механичке компоненте су опруге и пригушивачи, које апсорбују прекорачене силе удара. Главни проблем код гипких зглобова је тај да позиције чланова зглоба нису познате у датом еластичном опсегу кретања самог зглоба. Да би био решен тај проблем неопходни су сензори за које се може искористити нпр. електропроводљива силиконска гума.

Електропроводљива силиконска гума је материјал који се састоји од непроводљиве гуме (еластомера) и проводљивих честица распоређених равномерно. Пошто се те честице не додирују међусобно у иницијалном стању (када нема деформације материјала), електрицитет неће пролазити кроз њих што значи да материјал неће бити активан када нема спољашњих сила. Ако спољашње силе почну да делују и проузрукују додиривање проводљивих честица, електрична струја ће почети да тече кроз њих, а самим тим и кроз саму структуру материјала. Као резултат спољашњих сила и проузроковане деформације у материјалу и промене униформног положаја проводљивих честица, долази до промене електричне отпорности материјала. Та карактеристика овог материјала се може искористити за моделирање потенцијалних сензора код пасивних гипких роботских система. Промена електричне отпорности се може мењати при различитим деформацијама као што су притисак, истезање и савијање.

Гипки механизми су класа механизма који свој рад заснивају на еластичној деформацији њихових конститутивних елемената како би се преносило кретање и силе. Ове монолитне структуре су у ствари механизми без иједног класичног зглоба. Реализацијом гипких механизма у инжењерским структурама могу се добити многе користи: смањена комплексност, елиминисани трење и зазори, висока прецизност и могућност уметања актуатора и сензора у саму структуру. Захваљујући великом броју степени слободе који их карактерише и њиховом пасивном понашању, било који гипки механизам се може користити као механизам са подактуацијом. Због ових предности, одговарајуће пројектовани гипки механизми су добра основа за апликације намењене прилагођавању облику. Гипки механизми се могу израђивати од различитих материјала према жељеној крутости. Добре пасивне особине гипких механизма се могу искористити за израду адаптивних роботских хватача са пасивном гипкошћу или гипких хватача са подактуацијом.

Гипки хватачи са подактуацијом или пасивни гипки хватачи показују добре особине за примену у непознатим окружењима, где се особине објеката који се хватају не знају унапред и могуће су грешке код сензора. Гипкост прстију омогућује да се хватач пасивно прилагоди широком опсегу објеката док су истовремено контактне силе минималне. Идеја да се захтева потпуна савитљивост хватача при хватању објекта како би се омогућио дистрибутивно хватање је честа код биолошки-инспирисаних робота. Пасивна гипкост нуди додатне користи и то пре свега

код ударних сила, где закашњење сигнала повратне спреге доводи до неадекватне контроле тих контактних сила. Гипкост може такође да омогући ниже цене имплементације и то захваљујући редукацији броја сензора и актуатора потребних за хватање.

6. Циљеви истраживања

Главни циљеви овог истраживања су развој пасивних механизма роботског зглоба и роботског хватача. Заједничке карактеристике оба ова механизма су пасивна адаптивност према спољашним утицајима и примена електропроводљиве силиконске гуме као материјала за израду сензора деформација.

Један од главних задатака овог истраживања биће одређивање структуре пасивног гипког зглоба са интегрисаним сензорима од електропроводљиве силиконске гуме. Ти сензори биће уметнути у структуру зглоба са сврхом детекције и мерења разних карактеристика. Главни мотив за развој оваквог типа зглоба је у могућности добијања компактне конструкције и интегрисања карактеристика еластичности, пригушивања и мерења, а с друге стране и економске предности, пошто материјал за сензоре није скуп и једноставна је израда и монтажа. Главни мотив је да ови предложени зглобови са сензорима од деформабилног материјала добију прецизност крутог и сигурност гипког зглоба.

Други задатак овог истраживања биће истраживање и развој структуре роботског пасивног адаптивног гипког хватача. Главни циљ биће развој хватача као потпуно монолитне структуре у којој ће бити интегрисани сензори од електропроводљиве силиконске гуме. Циљ је да сама структура хватача буде израђена од непроводљиве силиконске гуме. Мотив је да се добије структура хватача која ће у појединим деловима имати електропроводљиве делове тако да се могу користити као сензори за мерење и детекцију разних карактеристика. Што се погона тог хватача тиче, потребно је одредити колико је улазних актуатора неопходно за добијени тип хватача како би се прилагођавао великом опсегу различитих објекта. Циљ је да број актуатора буде минимизован, а да се притом одрђују адаптивне особине хватача. Примена пасивности и подактуације омогућује додатне предности за минимизацију броја актуатора, а да се при том одрже исте карактеристике хватача. На крају ће, у зависности од експерименталних резултата, бити развијен алгоритам управљања за дати хватач и биће развијен нови конститутивни (математички) модел за коришћену електропроводљиву силиконску гуму.

7. Методе истраживања

У току истраживања биће развијени методолошки приступи према којима ће бити пројектовани и проучавани ови механизми.

Пре почетка развоја роботског зглоба биће вршена тестирања и мерења електропроводљиве силиконске гуме јер ће од добијених резултата зависити каква ће бити сама структура зглоба. За тестирање карактеристика електропроводљиве силиконске гуме биће коришћене већ установљене методе за експериментално тестирање гума. Поред тога, биће развијена метода за мерење електричних карактеристика електропроводљиве силиконске гуме применом виртуалних инструмената у програмском пакету LabVIEW.

Што се тиче роботског хватача биће примењене две нумеричке методе за добијење оптималне тополошке структуре хватача који треба да задовољи одређене тражене критеријуме. Једна од тих метода је итерациона оптимизациона процедура применом методе коначних елемената. Друга метода је метод оптималног критеријума применом математичког програмирања.

Поред тога користиће се нумеричке методе за анализу добијеног хватача, пре свега метода коначних елемената. Биће примењене и неке аналитичке методе као што је теорија навоја за анализу интеракције хватача са објектима.

Поред нумеричких и аналитичких метода за анализу хватача, биће примењене и разна експериментална мерења и тестирања добијеног хватача.

Као метод за развој контролера и конститутивног (математичког) модела за силиконску гуму биће коришћен адаптивни неуро фази систем јер тај систем има веома велику робусност и толеранције у грешкама експерименталних мерења.

8. Оквирни садржај дисертације

1. Увод

1.1 Основи појмови

1.2 Мотиви, циљеви и структура дисертације

2. Роботски пасивни гипки зглоб

2.1 Електропроводљива силиконска гума

2.2 Преглед и анализа пасивних роботских зглобова

2.3 Моделирање и израда сензора од електропроводљиве силиконске гуме

2.4 Синтеза новог типа пасивног роботског зглоба

2.5 Моделирање и пројектовање пасивног роботског зглоба

2.6 Експериментална апаратура и врсте испитивања

2.7 Радни принципи пасивног роботског зглоба

2.8 Експериментални резултати

3. Роботски адаптивни гипки хватач

3.1 Преглед и анализа роботских адаптивних гипких хватача

3.2 Итеративна оптимизациона процедура

3.3 Метод оптималног критеријума

3.4 Кинетостатичка анализа применом теорије навоја

3.5 Испитивање хватача

3.6 Синтеза хватача од силиконске гуме

3.7 Израда хватача

3.8 Експериментално тестирање хватача

3.9 Примена адаптивног неуро фази система

4. Закључни ставови

5. Списак литературе

Табела 1: Прелиминарни остварени број ЕСПБ.

ЕСПБ на основу дефинисаних критеријума		ЕСПБ	Σ
	1.1.Дипломирани инжињер машинства	300	300
	1.2.Полагање предмета на докторским студијама	8x10	80
Студијски истраживачки рад	2.1 Учешће студента на стручном семинару, симпозијуму, скупу из области докторских студија	Реф.: 3.1	2
	2.2 Учешће студента у реализацији научно-истраживачких пројеката	Реф.:2.1-2.4	20
	2.3 Рад саопштен на скупу националног значаја (категорија Р73), штампан у изводу		
	2.4 Рад саопштен на скупу међународног значаја (категорија Р72), штампан у изводу		
	2.5 Рад саопштен на скупу националног значаја (категорија Р65, М63), штампан у целини	Реф.: 1.12	0.5
	2.6 Рад саопштен на скупу међународног значаја (категорија Р54, Р54), штампан у целини	Реф.:1.5-1.10	6
	2.7 Рад објављен у часопису националног значаја (категорија Р62, М53)	Реф.: 1.4	1
	2.8 Рад објављен у водећем часопису националног значаја (категорија Р61)		
	2.9 Рад објављен у часопису међународног значаја (категорија Р52, М23)	Реф.: 1.2	10
	2.10 Рад објављен у водећем часопису међународног значаја (категорија Р51б)		
	2.11 Рад објављен у истакнутом водећем часопису међународног значаја (категорија Р51а, М21)	Реф.: 1.1	6.7
	2.12 Рад у тематском зборнику међународног значаја (категорија М14)	Реф.: 1.3	4
			430.2

1. Научно-стрични радови		
а) радови објављени у часописима међународног значаја		
1.1.	<i>Petković Dalibor, Issa Mirna, Pavlović D. Nenad, Pavlović T. Nenad, Zentner Lena: Adaptive neuro-fuzzy estimation of conductive silicone rubber mechanical properties</i> , Expert Systems with Applications, DOI: 10.1016/j.eswa.2012.02.111, In Press; (JIR₂₀₁₀ = 1.926)	M21 = 8п, P51-a = 8п
1.2.	<i>Petković Dalibor, Ćojbašić Žarko: Adaptive neuro-fuzzy estimation of automatic nervous system parameters effect on heart rate variability</i> , Neural Computing & Application, DOI: 10.1007/s00521-011-0629-z, Online First; (JIR₂₀₁₀ = 0.563)	M23 = 3п, P52 = 3п
б) монографије, монографске студије, тематски зборници, лескикографске и картографске публикације међународног значаја		
1.3.	<i>Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: A New Principle of Adaptive Compliant Gripper</i> , Mechanisms, Transmission and Applications, Mechanisms and Machine Science, Vol. 3, 2012, XVI, Springer, ISBN 978-94-007-2726-7, 143-150.	M14 = 4п
в) часописи националног значаја		
1.4.	<i>Jovanović Dragan, Petković Dalibor, Banić Milan: TRIZ Method Application in Development of a Solar Tracker</i> , Journal of Mechanical Engineering Design, Volume 12, Issue 1, December 2009, ISSN 1450-5401, pp. 41-50.	M53 = 1п, P62 = 1.5п
г) зборници међународних научних скупова		
1.5.	<i>Milošević Miloš, Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: Development of mechanism for inclination of Multifunctional Hospital Bed Head Section</i> , 9 th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” – RADMI 2009, Vrnjačka banja, Serbia, Volume 2, ISBN 978-86-6075-008-4, pp. 1155-1164.	M33 = 1п, P54 = 1п
1.6.	<i>Milošević Miloš, Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: Development of mechanism for leg position adjusting at Multifunctional Hospital Bed</i> , Proceedings of the 26 th International Scientific Conference “65 Years Faculty of Machine Technology”, Sozopol, 2010, ISBN 978-954-438-854-6, TU Sofia, 321-326.	M33 = 1п, P54 = 1п

1.7.	<i>Pavlović D. Nenad, Petković Dalibor, Pavlović T. Nenad: Optimal selection of the compliant mechanism synthesis method</i> , Proceedings of the International Conference “Mechanical Engineering in XXI Century”, Niš, 2010, ISBN 978-86-6055-008-0, 247-250.	M33 = 1п, P54 = 1п
1.8.	<i>Issa Mirna, Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad, Zentner Lena: Embedded-sensing elements made of silicone rubber for compliant robotic joint</i> , Proceedings of the 56 th International Scientific Colloquium TU Ilmenau, University of Technology, (CD-ROM), Ilmenau (Germany), 2011, paper id 1231	M33 = 1п, P54 = 1п
1.9.	<i>Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: Investigation and Adaptive Neuro-Fuzzy Estimation of Mechanical/Electrical Properties of Conductive Silicone Rubber</i> , Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering, Niš, 2011, pp. 385-388.	M33 = 1п, P54 = 1п
1.10.	<i>Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: A New Principle of Adaptive Compliant Gripper</i> , Proceedings of the First Workshop on Mechanisms, Transmissions and Applications MeTrApp 2011, Timișoara, Romania, 2011, pp. 145-152.	M33 = 1п, P54 = 1п
д) зборници скупова националног значаја		
1.12.	<i>Petković Dalibor: Razvoj novih tehnologija za 3D integrisana strujna kola</i> , Zbornik radova 32. kongresa o hidropneumatičkoj automatizaciji sa međunarodnim učešćem - HIPNEF, Vrnjačka banja, ISBN 978-86-81505-48-9, 2009, pp. 183-188.	M63 = 0.5п, P65 = 0.5п
2. Учешће у реализацији пројеката		
а) научно истраживачки пројекти		
2.1.	Развој интелигентног болничког кревета у терапији непокретних болесника. Научно-истраживачки пројекат у оквиру програма технолошког развоја у индустрији, који финансира Министарство за науку Републике Србије. Евиденциони број пројекта: ТР – 14029. Реализација пројекта: 2008/2010. Руководилац пројекта: <i>Проф. др Ненад Д. Павловић</i> . Позиција на пројекту: истраживач-докторант.	
2.2.	Развој и интеграција технологија пројектовања интелигентног мехатроничког интерфејса за примену у медицини (HUMANISM). Научно-истраживачки пројекат у оквиру програма интегралних и интердисциплинарних истраживања, који финансира Министарство за науку Републике Србије. Евиденциони број пројекта: ИИИ – 44004. Реализација пројекта: 2010/2014. Руководилац пројекта: <i>Проф. др Горан Ђорђевић</i> . Позиција на пројекту: истраживач-докторант.	

б) билателарни пројекти	
2.3.	Међународни пројекат "Мехатроника", финансиран од стране DAAD-а.
2.4.	Билателарни пројекат између Републике Србије и Савезне Републике Немачке "Развој метода за пројектовање функционалних гпких механизма и интеграцију сензора у гпке механизме". Реализација пројекта: 2010-2011. Руководилац пројекта: <i>Проф. др Ненад Д. Павловић.</i>
3. Учешће на семинарима	
3.1.	Учешће на едикативном семинару о коришћењу KoBSON сервиса: "ЕЛЕКТРОНСКИ ИЗВОРИ ИНФОРМАЦИЈА У НАУЦИ – значај, врсте, доступност, процена вредности", Ниш, 8.октобар, 2009.

Биографија

Далибор Петковић је рођен 24.01.1984. године у Лесковцу, село Горња Јајна. Основну школу "Никола Скобаљић" завршио је у Лесковцу 1999. године, а Машинску школу "Раде Металац" у Лесковцу 2003. године, профил "Машински техничар за компјутерско конструисање". Машински факултет Универзитета у Нишу уписао је 1. октобра 2003. године (смер Мехатроника и управљање). Дипломирао је 6. маја 2008. године са просечном оценом 9.14.

За време студија обавио је једну стручну праксу у иностранству (јул-август 2007. године), на Катедри за микромеханику Техничког Универзитета у Илменау, Немачка, у оквиру међународног пројекта „Мехатроника“ који је финансирао DAAD. У оквиру овог боравка радио је на експерименталном истраживању и развоју тродимензионалних интегрисаних струјних кола применом ниско температурно заједничко печене керамике што је касније била и тема дипломског рада. Добитник је похвалнице за најбољег студента четврте године дипломских академских студија.

Докторске академске студије уписао је на Машинском факултету у Нишу 1. октобра 2008. године. Све испите предвиђене Наставним планом докторских академских студија положио је са просечном оценом 9.63. Добитник је похвалнице за најбољег студента на докторским студијама.

За време докторских студија обавио је две стручне праксе у иностранству, на Техничком универзитету у Илменау, Немачка, у оквиру билателарног пројекта између Републике Србије и Савезне Републике Немачке „Развој метода за пројектовање функционалних гипких механизма и интеграцију сензора у гипке механизме“. У оквиру првог боравка (октобар-децембар 2010. године) развијен је пасивни роботских зглоб са интегрисаним сензорима што представља део предложене докторске дисертације. У оквиру другог боравка (август-октобар 2011. године) рађено је истраживање и развој адаптивних гипких пасивних роботских хватача са интегрисаним сензорима и актуаторима што представља други део предложене докторске дисертације.

Као стипендиста-докторант Министарства за просвету и науку Републике Србије учесник је на два научно-истраживачка пројекта, једног из области технолошког развоја, а другог из интегралних и интердисциплинарних истраживања (ИИИ). Учествовао је на домаћим и међународним научно-стручним скуповима и објавио више научно-истраживачких радова у међународним научним часописима.

У току докторских студија држао је вежбе из неколико предмета на дипломским академским студијама. Служи се активно енглеским језиком.