

**НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У НИШУ**

Одлуком Наставно научног већа Машинског факултета Универзитета у Нишу, бр. 612-315-6/2012 од 15.05.2012. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под називом:

„Истраживање и развој адаптивних пасивних гибких система са интегрисаним сензорима и актуаторима“

кандидата Далибора Петковића, дипломираног машинског инжењера.

На основу приложене документације, чланови Комисије подносе следећи

ИЗВЕШТАЈ

Далибор Петковић, дипломирани машински инжењер, поднео је 15.03.2012. године Одсеку за наставна и студентска питања Машинског факултета Универзитета у Нишу пријаву и захтев за оцену научне заснованости теме докторске дисертације. Кандидат је уз захтев приложио и предлог радног наслова теме дисертације, програм и садржај истраживања у оквиру докторске дисертације, основне биографске податке и списак објављених научних радова са прегледом остварених ЕСПБ.

1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

1.1. Лични подаци

Кандидат Далибор Петковић рођен је 24.01.1984. године у Лесковцу, село Горња Јајна, где и данас живи.

1.2. Подаци о образовању

Кандидат је у Лесковцу завршио основну школу "Никола Скобаљић" 1999. године, и Машинску школу "Раде Металац" 2003. године, профил "Машински техничар за компјутерско конструисање". Машински факултет Универзитета у Нишу уписао је 2003. године (смер Мехатроника и управљање), и дипломирао 2008. године са просечном оценом 9,14. Добитник је похвалнице за најбољег студента четврте године дипломских академских студија.

По дипломирању, 2008. године, уписао је докторске академске студије на Машинском факултету у Нишу. Све испите предвиђене Наставним планом докторских академских студија положио је са просечном оценом 9,63. Добитник је похвалнице за најбољег студента на докторским студијама.

1.3. Научни и педагошки рад

Још у току студија обавио је једну стручну праксу у иностранству (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 развоју тродимензионалних интегрисаних струјних кола применом ниско температурно заједничко печене керамике што је касније била и тема његовог дипломског рада.

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Примљено	01. 06. 2012		
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
1	612-386/12		

За време докторских студија обавио је још две стручне праксе на Техничком Универзитету у Илменау, овог пута на Катедри за механизме, 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 (2010. године) развио је пасивни роботски зглоб са интегрисаним сензорима што представља први од циљева предложене докторске дисертације. У оквиру другог боравка (2011. године) радио је на развоју адаптивних гипких пасивних роботских хватача са интегрисаним сензорима и актуаторима што представља други циљ предложене докторске дисертације.

Као стипендиста-докторант Министарства за просвету и науку Републике Србије био је учесник једног научно-истраживачког пројекта из области технолошког развоја, а тренутно је учесник научно-истраживачког пројекта у оквиру програма интегралних и интердисциплинарних истраживања (ИИИ).

У току докторских студија држао је вежбе из неколико предмета на дипломским академским студијама.

2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊЕГ НАУЧНОГ РАДА КАНДИДАТА

Кандидат је до сада објавио 11 радова, публикованих у часописима, зборницима радова и презентованих на научним конференцијама.

Научно-стручни радови		
а) радови објављени у часописима међународног значаја		
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; (JIR ₂₀₁₀ = 1.926)	M21 = 8п, P51-a = 8п
2.	<i>Petković Dalibor, Čojbašić 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; (JIR ₂₀₁₀ = 0.563)	M23 = 3п, P52 = 3п

Монографије, монографске студије, тематски зборници, лескикографске и картографске публикације међународног значаја

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		
4.	<i>Jovanović Dragan, Petković Dalibor, Banić Milan: TRIZ Method Application in Development of a Solar Tracker, Journal of Mechanical Engineering Design, Volume 12, Issue 1, December 2009, ISSN 1450-5401, pp. 41-50.</i>	M53 = 1п, P62 = 1.5п
г) зборници међународних научних скупова		
5.	<i>Milošević Miloš, Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: Development of mechanism for inclination of Multifunctional Hospital Bed Head Section, 9th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” – RADMI 2009, Vrnjačka banja, Serbia, Volume 2, ISBN 978-86-6075-008-4, pp. 1155-1164.</i>	M33 = 1п, P54 = 1п
6.	<i>Milošević Miloš, Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: Development of mechanism for leg position adjusting at Multifunctional Hospital Bed, Proceedings of the 26th International Scientific Conference “65 Years Faculty of Machine Technology”, Sozopol, 2010, ISBN 978-954-438-854-6, TU Sofia, 321-326.</i>	M33 = 1п, P54 = 1п
7.	<i>Pavlović D. Nenad, Petković Dalibor, Pavlović T. Nenad: Optimal selection of the compliant mechanism synthesis method, Proceedings of the International Conference “Mechanical Engineering in XXI Century”, Niš, 2010, ISBN 978-86-6055-008-0, 247-250.</i>	M33 = 1п, P54 = 1п
8.	<i>Issa Mirna, Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad, Zentner Lena: Embedded-sensing elements made of silicone rubber for compliant robotic joint, Proceedings of the 56th International Scientific Colloquium TU Ilmenau, University of Technology, (CD-ROM), Ilmenau (Germany), 2011, paper id 1231</i>	M33 = 1п, P54 = 1п
9.	<i>Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: Investigation and Adaptive Neuro-Fuzzy Estimation of Mechanical/Electrical Properties of Conductive Silicone Rubber, Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering, Niš, 2011, pp. 385-388.</i>	M33 = 1п, P54 = 1п
10.	<i>Petković Dalibor, Pavlović D. Nenad: A New Principle of Adaptive Compliant Gripper, Proceedings of the First Workshop on Mechanisms, Transmissions and Applications MeTrApp 2011, Timișoara, Romania, 2011, pp. 145-152.</i>	M33 = 1п, P54 = 1п
д) зборници скупова националног значаја		
11.	<i>Petković Dalibor: Razvoj novih tehnologija za 3D integrisana strujna kola, Zbornik radova 32. Kongresa o hidropneumatičkoj automatizaciji sa međunarodnim učešćem - HIPNEF, Vrnjačka Banja, ISBN 978-86-81505-48-9, 2009, pp. 183-188.</i>	M63 = 0.5п, P65 = 0.5п

3. ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ТЕМЕ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Предмет и актуелност истраживања

Роботски системи се могу поделити на системе са пасивном и системе са активном гипкошћу. Код роботских система са активном гипкошћу, додир са спољашњим објектима се детектује преко 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 утрошак доведене спољашње енергије ради мењања карактеристика система. За његово функционисање потребна је додатна управљачка јединица.

Систему са **пасивном гипкошћу** није потребно управљање. Поред опруга, он може да користи и вискозне амортизере 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 у које спадају роботски зглобови и хватачи. Такви зглобови имају способност мењања крутости када спољашња ударна сила прекорачи одређену границу. Ова особина је посебно подесна за роботе који често долазе у контакт са човеком или раде у ризичним ситуацијама па је потребно осигурати додатну безбедност у њиховој интеракцији са околином.

Овакви пасивни елементи могу заменити неке од погона тако да механизам функционише са мање актуатора него што је потребно према броју степени слободе. За такве механизме се каже да су са **подактуацијом** (имају одређени број непогођених степени слободе). Ови механизми имају небројене 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.

Под **гипким механизмима** подразумевају се покретљиве материјално кохерентне структуре које могу да преносе силе и трансформишу кретање само захваљујући еластичности (еластичној деформацији) одговарајућих сегмената структуре. Може се рећи да овакви, еластични сегменти замењују функцију класичних зглобова уз елиминисање појава зазора, трења и хабања. Гипки механизми се могу израђивати од различитих материјала, према жељеној крутости. Карактерише их и могућност уметања актуатора и сензора у саму структуру. Захваљујући великом броју степени слободе и њиховом пасивном понашању, било који гипки механизам може се користити као механизам са подактуацијом.

Особина пасивности са имплементираним подактуацијом пружа могућност механичке адаптације механизма хватача према облику објекта хватања. Та адаптација се реализује без одређеног управљачког закона; обично је довољан константни обртни момент актуатора да би се постигла адаптација према облику објекта.

Систем који има способност за адаптацију, односно има могућност да одговори различитим и непознатим (новим) ситуацијама у којима се нађе, назива се **адаптивним**. Механички систем је 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 основног задатка пошто ће сам механички систем омогућити тражено адаптивно понашање. Такви системи се често дефинишу као механички интелигентни.

Адаптивни роботски хватач је један од најпознатијих адаптивних роботских система. Према се манипулисање различитим облицима објеката може вршити са универзалним хватачима који имају широке опсеге ширине отвора хватања, у већини случајева се хватачи морају адаптирати према

облицима различитих, непознатих објеката. Нефлексибилност данас доступних хватача је један од лимитирајућих фактора па је то условило многа истраживања са аспекта развоја флексибилнијих адаптабилних хватача.

Из литературе се могу сагледати досадашњи покушаји развоја модела хватача који би био довољно једноставан за израду и управљање односно покушаји синтезе практичног адаптивног хватача. Како би се превазишао ограничени напредак код ових модела (већином због превисоке цене управљачке архитектуре неопходне за комплексне механичке системе са често више од 10 актуатора и много сензора), у овој дисертацији је постављено за основни циљ редуковање броја потребних актуатора. Та стратегија смањења броја актуатора (подактуација) уз истовремено задржавање способности хватача да се адаптира различитим облицима објекта хватања (повећање броја контактних тачака) ~~што~~ представља значајан допринос ове дисертације овој веома актуелној области истраживања.

Актуелност истраживања у овој докторској дисертацији везана је за развој адаптивних пасивних гипких система са интегрисаним сензорима и актуаторима. Планирано је да буду развијени механизам роботског зглоба са пасивном гипкошћу и структура роботског хватача са особинама пасивности, адаптивности и гипкости.

Роботи са крутим зглобовима реализују велику тачност, али је њихов контакт са спољашњим објектима релативно груб. Насупрот њима, пасивни гипки зглобови обезбеђују „меке“ контакте са окружењем, што је посебно важно ако долазе у контакт са човеком. Ако машине долазе у контакт са човеком, важно је управљати ударним силама како би се смањило ризик од повреда, што се може постићи применом гипких зглобова. Основне механичке компоненте роботских гипких зглобова су опруге и пригушивачи, који апсорбују прекорачене силе удара. Када робот дође у контакт са спољашњим објектом, гипки зглобови, под дејством еластичне отпорне силе, омогућавају померање зглоба уназад. Основни проблем код гипких зглобова је да нису познате тренутне позиције чланова зглоба у датом еластичном опсегу кретања самог зглоба као ни смер дејства спољашње ударне силе. Да би овај проблем био решен неопходна је примена сензора. Планирано је да се као сензор искористи електропроводљива силиконска гума која мења електричну отпорност при деформацијама условљеним дејством напрезања на притисак, истезање и савијање.

Добре пасивне особине гипких механизма могу се искористити за израду адаптивних роботских хватача са пасивном гипкошћу или гипких хватача са подактуацијом. Пасивни гипки хватачи су посебно подесни за примене у непознатим окружењима, где се особине објекта хватања не познају унапред, а не може се поуздати у сензоре. Гипкост прстију омогућује да се хватач пасивно прилагоди широком опсегу облика објекта уз минималне контактне силе; захтев за потпуном савитљивошћу хватача при хватању објекта, како би се омогућило дистрибутивно хватање, чест је код биолошки инспирисаних робота. Пасивна гипкост је од велике користи и код ударних контактних сила, где закашњење сигнала повратне спреге најчешће доводи до неадекватне контроле ових сила. Гипкост омогућава и ниже цене имплементације захваљујући редукацији броја сензора и актуатора потребних за хватање.

3.2. Циљеви дисертације

Основни циљеви дисертације су развој:

- механизма роботског зглоба са пасивном гипкошћу и
- структуре роботског хватача са особинама пасивности, адаптивности и гипкости.

Заједничке карактеристике оба ова механизма су пасивна адаптивност према спољашњим утицајима и планирана примена електропроводљиве силиконске гуме као материјала за израду сензора деформација.

Први од циљева ове дисертације биће синтеза структуре пасивног гипког зглоба са интегрисаним сензорима од електропроводљиве силиконске гуме. Ти сензори би требало да буду уметнути у структуру зглоба са сврхом детекције и мерења различитих карактеристика. Главни мотив за развој оваквог типа зглоба је у могућности добијања компактне конструкције и интегрисања карактеристика еластичности, пригушења и мерења, а други мотив је економске предности, пошто материјал за израду сензора није скуп да и израда и монтажа буду довољно једноставне. Основни циљ је да предложено решење зглоба, са сензорима од деформабилног материјала, добије прецизност крутог и безбедност гипког зглоба.

Други циљ ове дисертације биће развој структуре роботског пасивног адаптивног гипког хватача, као монолитне структуре у којој ће бити интегрисани сензори од електропроводљиве силиконске гуме. Циљ је да и сама структура хватача буде израђена од непроводљиве силиконске гуме тако да ова структура само у појединим деловима има електропроводљиве сегменте који се могу користити као сензори за мерење и детекцију различитих карактеристика што представља један од доприноса ове дисертације области адаптивних пасивних гипких система са интегрисаним сензорима. Што се погона хватача тиче, потребно је одредити колико је актуатора неопходно како би се добијени тип хватача прилагођавао великом опсегу различитих облика објеката. Примена пасивности и подактуације омогућава минимизацију броја актуатора, а да се при том задрже 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.

3.3. Методе истраживања

Најпре ће бити извршена тестирања и мерења карактеристика електропроводљиве силиконске гуме пошто ће од добијених резултата зависити какве ће бити структура зглоба и структура хватача. За тестирање карактеристика електропроводљиве силиконске гуме биће коришћене постојеће методе за експериментално тестирање гума. Поред тога, биће развијена метода за мерење електричних карактеристика електропроводљиве силиконске гуме, применом виртуалних инструмената у програмском пакету LabVIEW.

За добијење оптималне топологије структуре хватача који треба да задовољи тражене критеријуме биће коришћене две нумеричке методе: итеративна оптимизациона процедура применом методе коначних елемената и метод оптималног критеријума применом математичког програмирања.

За анализу добијеног решења хватача биће коришћене нумеричке методе, 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 коришћене и експерименталне методе мерења и тестирања израђеног прототипа хватача.

Као метод за развој контролера и конститутивног (математичког) модела за силиконску гуму биће коришћен адаптивни неуро-фази систем пошто је веома робустан и може да прихвати и грешке експерименталних мерења.

3.4. Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
 - 1.1 Основи појмови
 - 1.2 Мотиви, циљеви и структура дисертације
2. Роботски пасивни гипки зглоб
 - 2.1 Преглед и анализа пасивних роботских зглобова
 - 2.2 Електропроводљива силиконска гума
 - 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 Синтеза хватача од силиконске гуме
 - 3.6 Израда хватача
 - 3.7 Експериментално тестирање израђеног прототипа хватача
 - 3.8 Примена адаптивног неуро фази система
4. Закључна разматрања
5. Литература
6. Прилози

4. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу претходно наведене анализе, чланови Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације закључују:

- кандидат Далибор Петровић, дипломирани машински инжењер, испуњава формално све услове за стицање права на пријаву теме и израду докторске дисертације, предвиђене Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Нишу, Статутом Машинског факултета Универзитета у Нишу и Правилником о докторским академским студијама Машинског факултета Универзитета у Нишу,
- кандидат је својим досадашњим радом и резултатима испољио способност да се бави научним истраживањима,
- истраживања кандидата у области предложене теме већ су дала оригиналне резултате који су публиковани или су прихваћени за штампу у високо ранжираним часописима из уже научне области којој припада предложена тема докторске дисертације,
- презентирани научни резултати из области теме докторске дисертације указују на актуелност теме и способност кандидата да предложену докторску дисертацију успешно реализује у кратком временском периоду.

За ментора докторске дисертације предлаже се др Ненад Д. Павловић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, који је сагласан са овим предлогом.

На основу претходно изложеног, чланови Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације предлажу Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Нишу да Далибору Петковићу, дипломираном машинском инжењеру, одобри израду докторске дисертације под радним називом:

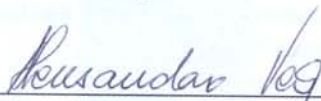
„Истраживање и развој адаптивних пасивних гпких система са интегрисаним сензорима и актуаторима“

У Нишу, Београду,
маја 2012.

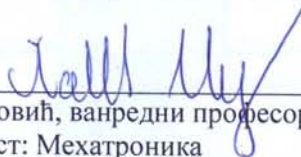
Чланови Комисије



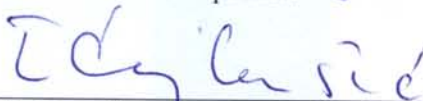
др Ненад Д. Павловић, редовни професор Машинског факултета у Нишу
Ужа научна област: Мехатроника



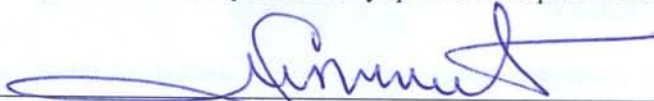
др Александар Вег, редовни професор Машинског факултета у Београду
Ужа научна област: Теорија машина и механизма



др Ненад Т. Павловић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу
Ужа научна област: Мехатроника



др Жарко Тојбашић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу
Ужа научна област: Аутоматско управљање и роботика



др Милош Милошевић, доцент Машинског факултета у Нишу
Ужа научна област: Мехатроника

РЕФЕРЕНЦЕ МЕНТОРА (из научне области којој припада тема докторске дисертације)

1. Pavlović,N.T., **Pavlović,N.D.**, Compliant Mechanism Design for Realizing of Axial Link Translation, Mechanism and Machine Theory 44 (2009), 1082-1091. (M21)
2. Petković,D., Issa,M., **Pavlović,N.D.**, Pavlović,N.T., Zentner,L., Adaptive neuro-fuzzy estimation of conductive silicone rubber mechanical properties, Expert Systems with Applications, Vol. 39 (2012), 9477-9482. (M21)
3. Petković,D., Issa,M., **Pavlović,N.D.**, Zentner,L., Čojbašić,Ž., Adaptive neuro fuzzy controller for adaptive compliant robotic gripper, Expert Systems with Applications, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.072>. (M21)
4. Petković,D., **Pavlović,N.D.**, A New Principle of Adaptive Compliant Gripper, Mechanisms, Transmissions and Applications, Series: Mechanisms and Machine Science, Vol. 3, 2012, XVI, Springer, ISBN 978-94-007-2726-7, 143-150. (M14)
5. Petković,D., Issa,M., **Pavlović,N.D.**, Pavlović,N.T., Zentner,L., Passively Adaptive Compliant Gripper, Applied Mechanics and Materials Vol. 162 (2012), 316-325. (M14)
doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.162.316
6. Pavlović,N.T., **Pavlović,N.D.**, Mobility of the compliant joints and compliant mechanisms, Theoretical and Applied Mechanics, ISSN 0350-2708, Vol.32, No. 4, 2005, 341-357. (M24)
7. Issa,M., Petković,D., **Pavlović,N.D.**, Zentner,L., Embedded-sensing elements made of conductive silicone rubber for compliant robotic joint, 56th Internationales Wissenschaftliches Kolloquium TU Ilmenau, (CD-ROM), Ilmenau, 2011, paper id 1231. (M33)