

Факултет МАШИНСКИ

104/3
(Број захтева)

09.02.2012.
(Датум)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ Образац 1.

Већу научних области техничких наука

(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)

ЗАХТЕВ
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

**ИДЕНТИФИКАЦИЈА, МОДЕЛИРАЊЕ И КОМПЕНЗАЦИЈА ГРЕШАКА УСЛЕД СТАТИЧКЕ
ПОПУСТЉИВОСТИ РОБОТА ЗА ОБРАДУ**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Производно машинство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: НИКОЛА (РАДОМИР) СЛАВКОВИЋ

2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд

3. Година дипломирања: 2007.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____ / _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____ / _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____ / _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____ / _____

Година завршетка докторских студија: 2009.

Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 09.02.2012
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број:104/3
Датум: 09.02.2012.године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев Николе Славковића, дипл.инж.маш., бр. 3066/1 од 12.12.2011. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Драган Милутиновић, ментор, проф.др Павао Бојанић, проф.др Милош Главоњић, проф.др Љубодраг Тановић, проф.др Бранислав Боровац, ФТН Нови Сад бр. 104/2 од 02.02.2012. године, а на основу чл. 30 Закона о високом образовању и чл. 30 Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 09.02.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«ИДЕНТИФИКАЦИЈА, МОДЕЛИРАЊЕ И КОМПЕНЗАЦИЈА ГРЕШАКА УСЛЕД СТАТИЧКЕ ПОПУСТЉИВОСТИ РОБОТА ЗА ОБРАДУ»** докторанта **НИКОЛЕ СЛАВКОВИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту **Николи Славковићу**, именује се **проф.др Драган Милутиновић**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: **Извештај Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације кандидата Николе Славковића, дипл. инж. маш.**

На основу Одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 104/1 од 12.01.2012. године, сагласности Колегијума наставника Катедре за производно машинство број 3189/1 од 22.12.2011. године, а по Пријави теме докторске дисертације број 3066/1 од 12.12.2011. године кандидата Николе Славковића, дипл. инж. маш., студента докторских студија, именовани смо за чланове Комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације. На основу увида у документацију коју је кандидат Никола Славковић, дипл. инж. маш. приложио уз свој захтев за израду докторске дисертације, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

о прихватању теме докторске дисертације под називом
ИДЕНТИФИКАЦИЈА, МОДЕЛИРАЊЕ И КОМПЕНЗАЦИЈА ГРЕШАКА УСЛЕД
СТАТИЧКЕ ПОПУСТЉИВОСТИ РОБОТА ЗА ОБРАДУ

1 Подаци о кандидату

1.1 Општи биографски подаци

Никола Славковић, дипл. инж. маш. је рођен у Чачку, 19. децембра 1981. године. Основну школу је завршио у Гучи и гимназију у Чачку. Машински факултет у Београду уписао је школске 2000/2001 године. Дипломирао је 30. јануара 2007. године на смеру за Производно машинство са просечном оценом 8,50 (осам и 50/100). Дипломски рад је урадио из предмета Индустријски роботи (ментор: проф. др Драган Милутиновић) и исти одбранио са оценом 10.

Од марта до септембра 2007. године је радио у Институт за вирусологију вакцине и серуме Торлак у Београду, а затим је одслужио војни рок. Докторске студије на машинском факултету у Београду је уписао школске 2007/2008 године, када је постао и стипендиста Министарства просвете и науке.

Од 7. септембра 2009. године, до данас ради на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду као асистент на предметима Индустријски роботи, Технологија машинске обраде и Машине алатке и роботи нове генерације. Као студент докторских студија и стипендиста Министарства а затим и као асистент је кроз усавршавање и рад на више научних и стручних пројеката био аутор и коаутор већег броја радова на домаћим и међународним скуповима и часописима. Коаутор је једног Техничког решења и већег броја инсталација намењених унапређењу наставе и актуелним истраживањима.

За постигнуте резултате у 2010. години као коаутор је награђен годишњом наградом Привредне коморе Београда за техничко унапређење, а 2011. године је био члан тима који је освојио четврто место на такмичењу за Најбољу технолошку иновацију.

1.2 Активности на докторским студијама

Кандидат Никола Славковић, дипл. инж. маш. је уписао Докторске студије на Машинском факултету у Београду школске 2007/2008. године. У циљу реализације програма усавршавања положио је следеће обавезне, изборне и специјалистичке предмете:

Први семестар

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
ОМНИР и комуникација	Проф. др Милош Недељковић	5	10 (десет)
Нумеричке методе	Проф. др Слободан Радојевић	5	10 (десет)
Виши курс математике	Проф. др Стојан Раденовић Проф. др Душан Георгијевић	5	10 (десет)
Аквизиција и обрада експерименталних података	Проф. др Милош Главоњић	5	10 (десет)
Лабораторија 1	Проф. др Драган Милутиновић	10	10 (десет)

Други семестар

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Одабрана поглавља из механике	Проф. др Јосиф Вуковић	5	10 (десет)
Развој производа у машинству	Проф. др Милосав Огњановић	5	10 (десет)
Интелигентна аутоматизација	Проф. др Петар Петровић	5	10 (десет)
Лабораторија 2	Проф. др Драган Милутиновић	15	10 (десет)

Трећи семестар

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Интелигентни индустријски роботи	Проф. др Драган Милутиновић	5	10 (десет)

Моделирање и симулација система индустријских робота	Проф. др Драган Милутиновић	5	10 (десет)
Лабораторија 3	Проф. др Драган Милутиновић	20	10 (десет)

Четврти семестар

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Лабораторија 4	Проф. др Драган Милутиновић	25	10 (десет)
Припрема за пријаву дисертације		5	10 (десет)

На докторским студијама, кандидат је положио свих 9 (девет) предмета, од чега 4 (четири) обавезна и 5 (пет) изборних предмета, од којих сваки вреди 5 (пет) ЕСПБ бодова, што укупно износи 45 (четрдесетпет) ЕСПБ бодова. Резултатима истраживачког рада у Лабораторији за индустријску роботiku и вештачку интелигенцију на Машинском факултету у Београду кандидат је остварио 70 (седамдесет) ЕСПБ бодова, као и 5 (пет) ЕСПБ бодова током припреме пријаве дисертације.

Просечна оцена током докторских студије је 10 (десет).

Кандидат има 1 објављен рад у међународном часопису са *SCI* листе.

1.3 Списак објављених радова и других релевантних резултата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на предложеној теми

Радови су разврстани у следеће групе:

1.3.1 Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. Milutinovic, D., Glavonjic, M., **Slavkovic, N.**, Dimic, Z., Zivanovic, S., Kokotovic, B., Tanovic, Lj., Reconfigurable robotic machining system controlled and programmed in a machine tool manner, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 53, Numbers 9-12, pp.1217-1229, 2011, doi: 10.1007/s00170-010-2888-8.

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

1. Milutinovic, D., Glavonjic, M., **Slavkovic, N.**, Zivanovic, S., Kokotovic, B., Dimic, Z., Compliance analysis of 5-axis vertical articulated machining robot, 4th International Conference on Manufacturing Engineering ICMEN, Proceedings, ISBN 978-960-98780-4-3, pp.411-422, October 2011.
2. Milutinovic, D., Glavonjic, M., **Slavkovic, N.**, Dimic, Z., Zivanovic, S., Kokotovic, B., Machining robot with low-cost control and programming system, 4th International

Conference on Manufacturing Engineering ICMEN, Proceedings, ISBN 978-960-98780-4-3, pp.387 – 396, October 2011.

3. Milutinovic, D., Glavonjic, M., **Slavkovic, N.**, Zivanovic, S., Kokotovic, B., Dimic Z., Compliance modeling and identification of 5-axis vertical articulated robot for machining applications, 34th International Conference on Production Engineering, Proceedings, ISBN 978-86-6055-019-6, pp.381-384, University of Nis, Faculty of Mechanical Engineering, September 2011.
4. Milutinovic, D., Glavonjic, M., **Slavkovic, N.**, Kokotovic, B., Milutinovic, M., Zivanovic, S., Dimic, Z., Machining robot controlled and programmed as a machine tool, 10th Anniversary International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2011, Proceedings, ISBN 978-99938-39-36-1, pp.863-872, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, May 2011.
5. Milutinovic, D., Glavonjic, M., Zivanovic, S., **Slavkovic, N.**, Rekonfigurabilni obradni sistemi na bazi petoosnog robota, 9th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2009, Proceedings, pp.273-280, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, May 2009.
6. Milicevic, I., Golubovic, D., **Slavkovic, N.**, Transformation matrix approach to dynamics of manipulative robots, 6th International Conference of Research and Development in Mechanical Industry RaDMI 2006, Section D-25, pp.1-8, Budva, September, 2006.

1.3.3 Радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини (М63)

1. Милутиновић, Д., Главоњић, М., Тановић, Љ., Бојанић, П., Пузовић, Р., Живановић, С., Кокотовић, Б., Поповић, М., **Славковић, Н.**, Младеновић, Г., Резултати истраживања и развоја нове генерације обрадних система, 37. ЈУПИТЕР конференција, 33. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-724-9, стр.УР.51-УР.64, Машински факултет, Београд, мај 2011.
2. Милутиновић, Д., Главоњић, М., **Славковић, Н.**, Димић, З., Живановић, С., Кокотовић, Б., Тановић, Љ., Реконфигурабилни обрадни систем на бази робота за вишеосну обраду, 36. ЈУПИТЕР конференција, 32. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-696-9, стр.3.11-3.21, Машински факултет, Београд, мај 2010.
3. Стојадиновић, С., **Славковић, Н.**, Милутиновић, Д., *Off-line* програмирање и симулација ћелије на бази робота "MITSHUBISHI MOVEMASTER RV-M1", 36. ЈУПИТЕР конференција, 32. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-696-9, стр.3.64-3.69, Машински факултет, Београд, мај 2010.
4. Милутиновић, Д., Главоњић, М., Живановић, С., Димић, З., **Славковић, Н.**, Развој реконфигурабилног обрадног система на бази робота, 33. Саветовање производног машинства са међународним учешћем, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-662-4, стр.151-155, Машински факултет у Београду, јун 2009.
5. Тановић, Љ., Бојанић, П., Милутиновић, Д., Главоњић, М., Пузовић, Р., Кокотовић, Б., Живановић, С., Поповић, М., **Славковић, Н.**, Младеновић, Г., Развој

технологија вишеосне обраде сложених алата за потребе домаће индустрије – Рекапитулација резултата на пројекту МА14034, 35. ЈУПИТЕР конференција, 31. симпозијум НУ-Роботи-ФТС, Зборник радова, ISBN 978-86-7083-666-2, стр.3.39-3.52, Машински факултет, Београд, јун 2009.

1.3.4 Пројекти – Техничка решења

1. Проф. др Драган Милутиновић, проф. др Милош Главоњић, **Никола Славковић, дипл. инж. маш.**, Зоран Димић, дипл. инж. ел., мр Бранко Кокотовић, дипл. инж. маш., мр Саша Живановић, дипл. инж. маш, Реконфигурабилни обрадни систем на бази робота за вишеосну обраду делова већих габарита са сложеним естетским и функционалним површинама од мекших материјала средње и ниже класе тачности, 2010.

1.4 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Досадашњим истраживачким активностима кандидат је испољио висок ниво заинтересованости и способности за бављење научним и истраживачким радом.

Публиковани радови у међународном часопису и на међународним и домаћим скуповима указују на изразити смисао кандидата да се самостално или као део тима бави теоријским и експерименталним истраживањима.

Објављени радови и други набројани резултати кандидата су суштински повезани са научном облашћу којој припада предложена тема докторске дисертације, што по мишљењу Комисије квалификује кандидата за успешан и ефикасан теоријски и експерименталан рад на предложеној докторској дисертацији.

2 Предмет и циљ истраживања

2.1 Проблем и предмет истраживања

Истраживања која су планирана у оквиру предложене дисертације се односе на домен обрадних система на бази робота вертикалне зглобне конфигурације за вишеосну обраду глодањем делова од мекших материјала, ниже и средње класе тачности, са сложеним површинама.

У ужем смислу, планирана истраживања су усмерена на развој метода идентификације, моделирања, калибрације и компензације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости робота за обраду.

Примена индустријских робота вертикалне зглобне конфигурације за вишеосну обраду глодањем делова од мекших материјала, ниже и средње класе тачности, са сложеним површинама, данас је увелико препозната као могућа успешна алтернатива скупим 5-осним машинама алаткама за ову класу задатака. Интензивна истраживања, која се данас спроводе у свету, се односе на решавање две групе проблема које представљају главне ограничавајуће факторе за ширу примену робота у обради. То су комплексност програмирања и незадовољавајућа крутост структуре робота која проистиче из њене серијске природе.

Како су отпори резања при глодању великим брзинама реда величине неколико стотина N то грешке положаја врха алата изазване овим силама лако прелази вредност од 1mm, јер је крутост серијске структуре робота неколико десетина пута мања од крутости CNC

машина алатки. Такође, за разлику од машина алатки, помераји врха алата код робота поред зависности од сила резања веома зависе и од положаја алата у радном простору робота. Полазећи од чињенице да је статичка компонента отпора резања у правцу нормале на обрађену површину при глодању, вишеструко већа од амплитуде динамичког отпора резања и да се директно одражава на тачност обраде, то је идентификација и компензација ових грешака од одлучујуће важности за успешну примену робота у обради.

Планирана истраживања, у оквиру предложене докторске дисертације, по садржају обухватају неколико актуелних истраживачких тема које се односе на: моделирање попустљивости робота у простору спољашњих координата (Декартовом простору), експерименталну идентификацију попустљивости робота, методе калибрације и методе компензације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости робота при обради.

2.2 Циљеви и опсег истраживања

Општи научни циљ дисертације је развој методе моделирања и компензације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости робота при вишеосној обради глодањем који подразумева:

- Развој методе моделирања статичке попустљивости робота у спољашњим координатама на бази резултујућих попустљивости зглобова са могућношћу анализе њихових појединачних утицаја на попустљивост врха алата у радном простору;
- Развој методе калибрације у циљу идентификације грешака алата услед статичке попустљивости као једног од најважнијих извора негеометријских грешака.
- Развој модела активне и пасивне компензације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости робота при обради глодањем.

2.3 Значај истраживања и осврт на релевантне библиографске изворе и остварене резултате

Већи број истраживачких пројеката покренутих у САД, Јапану и ЕУ се односи на истраживања развоја метода моделирања, идентификације и компензације грешака услед статичке попустљивости робота при вишеосној обради глодањем мекших материјала у циљу подизања нивоа тачности обраде што би довело до значајног проширења примене робота у индустрији за ове класе задатака. Даље се наводе само неки од важнијих радова и књига које са различитих аспеката третирају ову проблематику и које су имале утицаја на покретање истраживања предвиђених у овој докторској дисертацији.

1. Dumas C., Caro S., Garnier S., Furet B. (2011) Joint stiffness identification of six-revolute industrial serial robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 27:881-888.
2. Abele E., Rothenbucher S., Weigold M. (2008) Cartesian compliance model for industrial robots using virtual joints, *Prod. Eng. Res. Devel.* 2:339-343.
3. Stelzer M., Von Stryk O., Abele E., Bauer J., Weigold M. (2008) High speed cutting with industrial robots: Towards model based compensation of deviations, *Proc. Of Robotik*, Munich, Germany, pp. 143-146.

4. Moriwaki T. (2008) Multi-functional machine tool. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57:736-749.
5. Pan Z., Zhang H. (2008) Robotics machining from programming to process control: a complete solution by force control. *Industrial Robot: An International Journal* 35(5):400–409.
6. DePree J., Gesswein C. (2008) Robotic machining white paper project-Halcyon Development, <http://www.halcyondevelop.com>
7. Brogardh T. (2007) Present and future robot control development-An industrial perspective. *Annual Reviews in Control* 31:69–79.
8. Abele E., Weigold M., Rothenbucher S. (2007) Modeling and identification of an industrial robot for machining applications. *Annals of the CIRP* 56(1):387–390.
9. Wang J., Zhang H., Zengxi P. (2007) Machining with Flexible Manipulators: Critical Issues and Solutions. *Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications* ISBN 3-86611-286-6, Edited by Huat. L. K., Pro Literatur Verlag, Germany, pp.:515-536.
10. Abderrahim M., Khamis A., Garrido S., Moreno L. (2007) Accuracy and Calibration Issues of Industrial Manipulators. *Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications* ISBN 3-86611-286-6, Edited by Huat. L. K., Pro Literatur Verlag, Germany, pp.:131-146.
11. Sciavicco L., Siciliano B. (2005) *Modelling and Control of Robot Manipulators*, Springer-Verlag, London.
12. Alici G., Shirinzadeh B. (2005) Enhanced Stiffness Modeling, Identification and Characterization for Robot Manipulators. *IEEE Transactions on Robotics* 21:554-564.
13. Gu J.S., de Silva C.W. (2004) Development and implementation of a real-time open-architecture control system for industrial robot systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 17:469–483.
14. Elatta A.Y., Gen L.P., Zhi F.L., Daoyuan Y., Fei L. (2004) An Overview of Robot Calibration. *Information Technology Journal* 3(1):74-78.
15. Huang C., Kao I. (2003) Geometrical interpretation of the CCT stiffness mapping for serial manipulators. *Robotics research* 6:419-431.
16. Merlet J.P. (2000) *Parallel Robots*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
17. Gong C., Yuan J., Ni J. (2000) Nongeometric error identification and compensation for robotic system by inverse calibration. *International Journal of Machine Tool & Manufacture* 40:2119-2137.
18. Milutinovic D. (1997) Universal compliant device based on SCARA concept. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 13(4):319-321.
19. Milutinovic D., Milacic V. (1996) Micro Scara Robot as Universal Adaptive Compliant Wrist. *Annals of the CIRP* 45(1):31-34.
20. Mooring B.W., Roth Z.S., Driels M.R. (1991) *Fundamentals of manipulator calibration*, John Wiley & Sons.

21. Hudgens J.C., Hernandez E., Tesar D. (1991) A compliance parameter estimation method for serial manipulator DSC. Applications of Modeling and Identification to Improve Machine Performance ASME 29:15–23.

3 Полазне хипотезе

Примена индустријских робота за вишеосну обраду глодањем делова од мекших материјала, ниже и средње класе тачности, са сложеним површинама, данас је препозната као могућа успешна алтернатива 5-осним машинама алаткама за ову класу задатака. Интензивна истраживања, која се данас спровode у свету се односе на решавање проблема идентификације и компензације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости робота при обради глодањем у циљу подизања нивоа тачности обраде односно проширења примене робота у индустрији за ове класе задатака.

Одабрано је следећих шест хипотеза, са којима се започиње истраживање у овој докторској дисертацији:

- Да је постојећим методама кинематичке калибрације могућа идентификација и елиминација геометријских грешака кинематичког модела робота као неопходног предуслова за моделирање, анализу и експерименталну идентификацију статичке попустљивости врха алата у радном простору;
- Да су сегменти робота довољно крути и да је могућа експериментална идентификација резултујућих попустљивости зглобова (које потичу од актуатора, преносника и управљања);
- Да је постојећи конвенционални приступ моделирања статичке попустљивости робота у простору спољашњих координата (Декартовом простору) на бази резултујућих попустљивости зглобова могуће проширити у циљу анализе појединачних утицаја попустљивости сваког зглоба на попустљивост врха алата у Декартовом простору;
- Да је могуће развити методу некинематичке калибрације у циљу идентификације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости као једног од најважнијих извора негеометријских грешака;
- Да је могуће развити модел пасивне компензације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости робота при обради глодањем;
- Да је могуће развити модел активне компензације грешака положаја врха алата у реалном времену услед статичке попустљивости робота при обради глодањем;

4 Научне методе истраживања

У припреми за израду ове дисертације извршена је припрема ресурса тако да се могу применити следеће научне методе истраживања:

- Методе пројектовања робота и мултифункционалних обрадних система;
- Методе кинематичког моделирања серијских и паралелних робота;
- Методе статичког моделирања серијских и паралелних робота;
- Методе динамичког моделирања серијских и паралелних робота;
- CAD/CAM за пројектовање делова и технологија за њихову израду;

- Методе управљања и програмирања робота и машина алатки;
- Методе калибрације робота и машина алатки;
- Методе пасивне и активне компензације робота и машина алатки;
- Методе за развој виртуелних робота у циљу симулације и верификације;
- Методе испитивања робота и машина алатки;

5 Очекивани научни допринос

Према постављеним хипотезама, очекивани научни резултати истраживања у овој дисертацији су:

- Метода моделирања статичке попустљивости робота у простору спољашњих координата (Декартовом простору) са могућношћу анализе утицаја попустљивости сваког зглоба на попустљивост врха робота у радном простору;
- Метода некинематичке калибрације у циљу идентификације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости као једног од најважнијих извора негеометријских грешака код робота;
- Модел активне компензације грешака положаја врха алата у реалном времену услед статичке попустљивости робота при обради глодањем;

Очекивани стручни резултати су:

- Експериментални модел пасивне компензације грешака положаја врха алата при обради глодањем услед статичке попустљивости за петоосне индустријске роботе вертикалне зглобне конфигурације;
- Виртуелни петоосни робот вертикалне зглобне конфигурације за обраду глодањем са управљивом попустљивошћу зглобова као ресурса за пројектовање робота и даља истраживања у овој области;

6 План истраживања и структура рада

У оквиру дисертације, која се односи на идентификацију, моделирање и компензацију грешака услед статичке попустљивости робота за обраду, планирана су теоријска и експериментална истраживања која обухватају следеће фазе:

- Преглед и анализа резултата истраживања у области моделирања, анализе и идентификације статичке попустљивости робота;
- Анализа метода калибрације робота;
- Анализа метода пасивне и активне компензације грешака услед статичке попустљивости;
- Моделирање статичке попустљивости робота у простору спољашњих координата (Декартовом простору) са могућношћу анализе утицаја попустљивости сваког зглоба на попустљивост врха робота у радном простору;
- Развој ефикасних алгоритама пасивне и активне компензације грешака положаја врха алата услед статичке попустљивости робота при обради глодањем;

- Имплементација постављене методе моделирања статичке попустљивости и алгоритама пасивне и активне компензације грешака;
- Експериментална верификација резултата;
- Анализа и дискусија остварених резултата.

Оквирна структура рада се може представити следећим целинама:

- Уводна разматрања
- Преглед и анализа стања истраживања и развоја у области моделирања и анализе статичке попустљивости робота за обраду
- Моделирање статичке попустљивости робота у простору спољашњих координата
- Некинематичка калибрација у циљу идентификације негеометријских грешака услед статичке попустљивости
- Модели и алгоритми пасивне и активне компензације
- Експериментална верификација
- Закључак
- Литература
- Прилози

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Анализом релевантних података из пријаве кандидата Николе Славковића, дипл. инж. маш., Комисија закључује да је предложена тема изузетно актуелна и посебно подобна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све законом предвиђене услове и истраживачке квалификације за рад на докторској дисертацији.

Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату

Николи Славковићу, дипл. инж. маш.

одобри израду докторске дисертације под називом:

„ИДЕНТИФИКАЦИЈА, МОДЕЛИРАЊЕ И КОМПЕНЗАЦИЈА ГРЕШАКА УСЛЕД СТАТИЧКЕ ПОПУСТЉИВОСТИ РОБОТА ЗА ОБРАДУ“

у научној области Машинство.

За ментора за рад на овој дисертацији предлаже се проф. др Драган Милутиновић, редовни професор на Катедри за Производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 02.02.2012. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Проф. др Драган Милутиновић, ментор

Проф. др Павао Бојанић

Проф. др Милош Главоњић

Проф. др Љубодраг Тановић

Проф. др Бранислав Боровац,
Факултет техничких наука, Нови Сад

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Николу Славковића, дипл. инж. маш.

Име и презиме ментора: Драган Милутиновић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Milutinovic D., Glavonjic M., Kvrđic V., Zivanovic S., „A new 3-DOF spatial parallel mechanism for milling machines with long X travel“, CIRP Annals-Manufacturing Technology, (2005), vol. 54 br. 1, str. 345-348, ISSN 0007-8506, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60119-X, if. 0.891.
2. Glavonjic M., Milutinovic D., „Parallel structured milling machines with long X travel“, Robotics and Computer-integrated Manufacturing, (2008), vol. 24 br. 3, str. 310-320, ISSN 0736-5845, doi:10.1016/j.rcim.2006.12.001, if. 1.371.
3. Glavonjic M., Milutinovic D., Zivanovic S., „Functional simulator of 3-axis parallel kinematic milling machine“, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2009), vol. 42 br. 7-8, str. 813-821, ISSN 0268-3768, doi: 10.1007/s00170-008-1643-x, if. 1.128.
4. Glavonjic M., Milutinovic D., Zivanovic S., Dimic Z., Kvrđic V., „Desktop 3-axis parallel kinematic milling machine“, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2010), vol. 46 br. 1-4, str. 51-60, ISSN 0268-3768, doi: 10.1007/s00170-009-2070-3, if. 1.071.
5. Milutinovic D., Glavonjic M., Slavkovic N., Dimic Z., Zivanovic S., Kokotovic B., Tanovic Lj., „Reconfigurable robotic machining system controlled and programmed in a machine tool manner“, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2011), vol. 53 br. 9-12, str. 1217-1229, ISSN 0268-3768, doi: 10.1007/s00170-010-2888-8, if. 1.071 за 2010.

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, ANCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П.
