

Факултет МАШИНСКИ

1796/4
(Број захтева)

30.10.2014.
(Датум)

Образац 1.
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

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
КОГНИТИВНА ИНТЕРАКЦИЈА ЧОВЕКА И РОБОТА У КООПЕРАТИВНОМ ИЗВРШАВАЊУ РАДНИХ ЗАДАТАКА У ОКВИРУ ТЕХНОЛОШКОГ СИСТЕМА ЗА МОНТАЖУ
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Производно машинство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ИВАНА (РАДОЈЕ) ДАНИЛОВА

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

3. Година дипломирања: 2010.

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 уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: /

Година уписа докторских студија: 2010.

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

на седници одржаној 30.10.2014
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: 1796/4
Датум: 30.10.2014. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев **Ивана Данилова, дипл.инж.маш.-мастер**, бр. 1730/1 од 15.09.2014. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Петар Петровић, проф.др Бојан Бабић, проф.др Љубодраг Тановић, доц.др Бранко Кокотовић и проф.др Бранко Ковачевић, ЕТФ Београд, број 1796/3 од 28.10.2014. 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 30.10.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«КОГНИТИВНА ИНТЕРАКЦИЈА ЧОВЕКА И РОБОТА У КООПЕРАТИВНОМ ИЗВРШАВАЊУ РАДНИХ ЗАДАТАКА У ОКВИРУ ТЕХНОЛОШКОГ СИСТЕМА ЗА МОНТАЖУ»** докторанта **ИВАНА ДАНИЛОВА, дипл.инж.маш.-мастер**

За ментора докторанту Ивану Данилову, именује се **проф.др Петар Петровић**.

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

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата студента докторских студија Ивана Данилова, дипл. маш. инж. - мастер за израду докторске дисертације

На основу пријаве за израду докторске дисертације студента докторских студија Ивана Данилова, дипл.маш.инж. - мастер број 1730/1 од 15.09.2014. године, сагласности Катедре за производно машинство број 1796/1 од 26.09.2014. године и одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 1796/2 од 02.10.2014. године именовани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације студента докторских студија Ивана Данилова, дипл.маш.инж. - мастер.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

о прихватању теме докторске дисертације под насловом:

Когнитивна интеракција човека и робота у кооперативном извршавању радних задатака у оквиру технолошког система за монтажу

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Име и презиме: Иван Р. Данилов

Датум рођења: 07. јул 1986.

Место рођења: Панчево

Адреса становања: Змај Јове Јовановића 1/24, Панчево

Контакт телефон: 064/1093-771

Електронска пошта: idanilov@mas.bg.ac.rs

ivandpm@yahoo.com

Образовање:

2001 – 2005. Машинска школа "Панчево", Панчево, Смер: Машинство и обрада метала – техничар за компјутерско конструисање.

- 2005 – 2008. Основне академске студије, Машински факултет Универзитета у Београду, Производно машинство (просечна оцена током студирања 9,73). Завршни рад одбранио са оценом 10.
- 2008 – 2010. Мастер академске студије, Машински факултет Универзитета у Београду, Производно машинство (просечна оцена током студирања 9,50).
2010. – Дипломирани инжењер машинства. Дипломирао 07. октобра са оценом 10 и укупном просечном оценом током студирања 9,62. Тема дипломског (мастер) рада: Портабилни микроробот са паралелном кинематиком за плазма контурно резање. Ментор: проф. др Петар Б. Петровић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду.
2010. – Уписао 05. новембра докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, број индекса Д11/10.

Од 01. јануара 2011. године запослен на Машинском факултету Универзитета у Београду као сарадник на пројекту технолошког развоја под називом: "Интелигентни роботски системи за екстремно диверзификовану производњу", који финансира Министарство за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије. Руководилац пројекта проф. др Петар Б. Петровић, идентификациони број ТР35007.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду, од 20. јуна 2014., изабран у звање "истраживач сарадник".

Усавршавање на Техничком Универзитету у Цириху, септембар 2013. године, у области когнитивне роботике, у организацији европског пројекта "Extending Sensorimotor Contingencies to Cognition" (eSMCs), под називом "eSMCs Summer School on Embodiment and Morphological Computation".

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Студент докторских студија Иван ДАНИЛОВ је активно учествовао у свим истраживачко-развојним активностима реализације пројекта ТР35007 – "Интелигентни роботски системи за екстремно диверзификовану производњу", који финансира ресорно министарство за науку и технолошки развој за период 2011 до 2015. године, на којем је кандидат ангажован млади докторант. Поред дела заједничких послова, ангажовање кандидата је било фокусирано на тематски оквир његове докторске тезе, а то је технологија интелигентног роботског заваривања у оквиру технолошког система за монтажу. Иван Данилов је учествовао у делу конципирања, пројектовања, физичке реализације и спровођења експеримената на реализацији система за вештачко гледање, базираног на оптичкој триангулацији структуриране светлости. У реализацији ових задатака Иван Данилов је извршио студиозну анализу стања истраживачких активности у овој области и учествовао у пројектовању, развоју и експерименталној верификацији иновативног решења система вештачког гледања имплементираног на новој роботској платформи која је као капитална опрема испоручена у Машинском факултету првом кварталу 2013. године. На овим основама спроведена су обимна истраживања у домену изградње интелигентног роботског система за заваривање који ће бити комуникативан са својим окружењем и омогућити брзо програмирање робота кроз физичку интеракцију са човеком (Cyber – Physical Systems који представљају највиши истраживачки приоритет у оквиру ХОРИЗОНТ 2020 истраживачког програма Европске уније). Поред низа радова који су публиковани по овом основу, пријављен је и два техничка решења које је прихватило Научно веће Машинског факултета и Матични одбор за машинство ресорног министарства за науку и технолошки развој.

Студент докторских студија Иван Данилов је такође активно радио на задацима везаним за интеракцију са индустријом и то: 1) активности пројектовања CNC система за плазма резање

за потребе компаније ИКАРБУС (партиципант на пројекту TP35007), 2)реализација микро електромеханичког сензорског система за аквизицију понашања човека у извођењу операције спајања у оквиру технологије монтаже, 3)развоја и реализација интелигентног мултифункционалног човек-робот интерфејса – CyberFABRICATOR платформа, и 4)развој система за адаптивно управљање процесом плазма резања

Поред претходног, значајно је да се посебно нагласи да је докторант Иван Данилов успео да се успешно квалификује и учествује у раду летње школе посвећене низу високорелевантних тема за когнитивну роботiku. Ова летња школа организована је на Универзитету у Цириху, Лабораторија за вештачку интелигенцију (Artificial Intelligence Laboratory), а све у контексту FP7 европског пројекта: eSMCs: Extending Sensorimotor Contingencies to Cognition. Даље се наводе основне информације:

eSMCs Robotics Summer School on Embodiment and Morphological Computation

22-28 sept. 2013, University of Zurich, Suisse.

Content: The five-day school will be structured around the following themes:

1. embodiment and morphology
2. active perception and sensorimotor contingencies
3. information theory
4. neuroscience of motor cognition
5. embodiment and awareness

The school will comprise keynote lectures in the mornings and workshops in the afternoons, which serve for in-depth discussions of topics from the keynote lectures. The workshops will feature hands-on tutorials where students will have the opportunity to build their own robots using the robotic toolkit EmbedIT (embed-it.ch/) to study the impact of morphology on locomotion behavior. Speakers:

1. Auke Ijspeert, EPFL Lausanne, Switzerland.
2. Josh Bongard, University of Vermont, USA
3. Fumiya Ida, ETH Zurich, Switzerland
4. Marek McGann, Mary Immaculate College, Limerick, Ireland
5. Wolfgang Prinz, University of Münster, Germany
6. Daniel Polani, University of Hertfordshire, UK
7. Rajesh Rao, University of Washington, USA
8. Ricarda Schubotz, University of Münster, Germany
9. Angelo Maravita, University of Milano-Bicocca, Italy
10. Catherine Tallon-Baudry, École Normale Supérieure, Paris, France
11. Herbert Peremans, University of Antwerp, Belgium
12. Rolf Pfeifer, University of Zurich, Switzerland
13. Helmut Hauser, University of Zurich, Switzerland

Кандидат је непосредно по дипломирању, 05. новембра 2010. године, уписао докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, број индекса Д11/10.

Агилним ангажовањем у извршавању наставних обавеза кандидат је положио у року све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија и програмом усавршавања који је усвојила Катедра за производно машинство: укупно 9 (45 ЕСПБ) + 4 (53 ЕСПБ) = 13 испита са укупно 98 ЕСПБ, што је документовано одговарајућом Потврдом Студентског одсека за докторске студије Машинског факултета у Београду. Даље се наводи листа положених испита, име професора код којег је испит полаган и добијена оцена:

1. 1.1.5 Виши курс математике, Проф. др Душан Георгијевић и Проф. др Стојан Раденовић, оцена 10
2. 1.2.5 Нумеричке методе, Проф. др Миодраг Спалевић и Проф. др Александар Цветковић, оцена 10

3. 1.3.5 ОМНИР и комуникација, Проф. др Милош Недељковић, оцена 10
4. 1.4.5 Аквизиција и обрада експерименталних података, Проф. др Милош Главоњић, оцена 10
5. 1.5.10 Истраживање и публикување - I, Проф. др Петар Б. Петровић, оцена 10
6. 2.1.5 Одабрана поглавља из механике, Проф. др Вукман Човић, оцена 10
7. 2.2.5 Интелигентна аутоматизација, Проф. др Петар Б. Петровић, оцена 10
8. 2.3.5 Посебни алгоритми мехатронике, Проф. др Часлав Митровић, оцена 10
9. 2.4.15 Истраживање и публикување - II, Проф. др Петар Б. Петровић, оцена 10
10. 3.1.5 Испитивање и оптимизација обрадног система, Проф. др Милош Главоњић, оцена 10
11. 3.2.5 Мехатронски системи и адаптроника, Проф. др Петар Б. Петровић, оцена 10
12. 3.3.20 Истраживање и публикување - III, Проф. др Петар Б. Петровић, оцена 10
13. 4.1.8 Истраживање и публикување - IV, Проф. др Петар Б. Петровић, оцена 10

У складу са планом и програмом извођења докторских студија кандидат је одбранио Пројекат идеје докторске дисертације (22 ЕСПБ) пред комисијом коју су, поред предложеног ментора ове докторске дисертације, чинили следећи наставници са Катедре за производно машинство: доцент др Живана Јаковљевић и доцент др Бранко Кокотовић. Кандидат је саопштио преглед области истраживања, резултате систематизације кључних налаза са тим у вези, и на основу тога предложио комисији област, тематски оквир и очекиване резултате истраживања за своју докторску дисертацију.

У складу са планом и програмом извођења докторских студија кандидат је, радећи на истраживачким активностима, првенствено кроз оквир пројекта ТР35007, активно учествовао у публикувању 19 научних радова и у изради 6 техничких решења, који су тесно повезани са тематским оквиром дисертације. Даље се наводи списак објављених радова и других релевантних резултата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на предложеној теми, разврстани у 7 група према категоризацији ресорног министарства за науку и технолошки развој:

1. Поглавље у монографија међународног значаја (M14):
 1. Petrovic, P.B., Lukic, N., Danilov, I., "Robot-Assisted 3D Medical Sonography", Challenges and Solutions, Chapter 3 in: Rodic, A., Pisla, D., Bleuler, H. (Eds.), "New Trends in Medical and Service Robots", Series: Mechanisms and Machine Science, Vol. 20, Springer, 2014., ISBN 978-3-319-05430-8, DOI 10.1007/978-3-319-05431-5.
2. Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):
 2. Pilipović, M., Danilov, I., Lukić, N., Petrović, P.B., "Virtual Manufacturing - Advanced Manufacturing Examples", Proceedings, 34th International Conference on Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Nis, 2011, pp. 217-220, ISBN: 978-86-6055-019-6.
 3. Petrović, P.B., Lukić, N., Danilov, I., Miković, V., "Canonisation of actuation stiffness matrix in kinematically redundant industrial humanoid robots", 11th INTERNATIONAL Scientific Conference MMA 2012 - Advanced Production Technologies, Automatic flexible technological systems, CAx and CIM procedures and systems, Novi Sad, September 2012, page: 281.-284., ISBN 978-86-7892-419-4, COBISS.SR-ID 273838087.

4. Lukić, N., Petrović, P.B., Danilov, I., "Variable stiffness actuator design for intrinsically compliant and backdrivable industrial humanoid robot", Proceedings, 35th International Conference of Production Engineering, Faculty of Mechanical and Civil Engineering in Kraljevo, University of Kragujevac, September, 25-28. 2013, page: 209.-214., ISBN 978-86-82631-69-9, COBISS.SR-ID 204080908.
5. Danilov, I., Petrović, P.B., Lukić, N., "Coded structured light triangulation for agile robot - environment interaction in arc welding", Proceedings, 35th International Conference of Production Engineering, Faculty of Mechanical and Civil Engineering in Kraljevo, University of Kragujevac, September, 25-28. 2013., page: 215.-219., ISBN 978-86-82631-69-9, COBISS.SR-ID 204080908.
6. Petar B. Petrović, Nikola Lukić and Ivan Danilov, Compliant Behavior of Redundant Robot Arm - Experiments with Null-Space, Proceedings of 1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2014, Vrnjačka Banja, Serbia, June 2 – 5, 2014, pp. ROI1.2. 1-6, ISBN 978-86-80509-70-9 (Organizator IcETRAN 2014 konferencije je ovaj rad nagradio kao najbolji rad u sekciji za robotiku za 2014. godinu).
7. Petrovic, P., Lukic, N., Danilov, I.: Configuration Based Compliance Control of Industrial Humanoids, Proceedings of the 17th International Multiconference, INFORMATION SOCIETY – IS 2014, Volume F ROBOTICS, October 2014, Ljubljana, Slovenia, pp. 25-29. ISBN 978-961-264-076-7.
3. Рад у часопису националног значаја (M52):
 8. Petrović, P.B., Lukić, N., Danilov, I., Miković, V., "Canonisation of actuation stiffness matrix in kinematically redundant industrial humanoid robots", Journal of Production Engineering, Vol. 16, No.1, pp: 43-46, Novi Sad, 2013, ISSN 1821-4932.
4. Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63):
 9. Petrović, P. B., Hodolić, J., Danilov, I., Lukić, N., Vukelić, Đ., "Robotski asistirana 3D ultrazvučna medicinska dijagnostika - Novi Co-x konceptualni okvir za lekar-robot-pacijent kolaborativni rad", Proceeding / International Scientific Conference "Metrology and Quality in Production Engineering and Environmental Protection", ETIKUM 2013, Novi Sad, 12-13. Jun 2013., str. 87-96., ISBN: 978-86-7892-512-2.
 10. Petrović, M., Lukić, N., Vuković, N., Miljković, Z., "Mobilni robot u unutrašnjem transportu materijala inteligentnog tehnološkog sistema – edukacija i razvoj", 36. JUPITER Konferencija, 32. simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Zbornik radova - CD, str. 3.85-3.90, Beograd, 11-12. maj 2010. ISBN: 978-86-7083-696-9.
 11. Petrović, M., Danilov, I., Lukić, N., Glavonjić, M., Kokotović, B., "Mehanistička identifikacija modela sile pri ortogonalnom rezanju", 37. JUPITER Konferencija, 33. simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Zbornik radova - CD, str. 3.93-3.102, Beograd, 10-11. maj 2011. ISBN: 978-86-7083-724-9.
 12. Petrović, P.B., Danilov, I., Lukić, N., "Novi pristupi u projektovanju ekstremno varijantnih proizvoda", 37. JUPITER Konferencija, 33. Simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Beograd 2011, str. 3.26-3.35, ISBN: 978-86-7083-724-9.
 13. Lukić, N., Petrović, P., Danilov, I., "Optimizacija senzora sile mekog zgloba industrijskog humanoidnog robota sa upravljanom popustljivošću za zadatke robotizovanog spajanja delova", Zbornik radova 38. JUPITER konferencija, 34. simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Beograd 2012, str. 3.118-3.125, ISBN: 978-86-7083-757-7
 14. Petrović, P., Lukić, N., Danilov, I., "Industrijski humanoidi - novi koncept robota za kolaborativni rad čovek-mašina u sistemima za robotsku montažu", Zbornik radova 38.

JUPITER konferencija, 34. simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Beograd 2012, str. 3.126-3.139, ISBN: 978-86-7083-757-7

15. Danilov, I., Petrović, P., Lukić, N., "Eksperimentalna instalacija za ultra brzu optičku triangulaciju struktuirane svetlosti u robotizovanoj montaži", Zbornik radova 38. JUPITER konferencija, 34. simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Beograd 2012, str. 3.140-3.148, ISBN: 978-86-7083-757-7.

16. Petrović, P., Lukić, N., Danilov, I., Miković, V., "Pseudoinverzija Jakobijana dijagonalizacijom aktuatorne matrice krutosti kinematski redundantnog industrijskog humanoida", Zbornik radova 56. Konferencije za ETRAN, Zlatibor, 11-14. juna 2012., RO1.5, str. 1-4.

17. Petrović, P., Lukić, N., Danilov, I., "Eksperimenti sa mekim zglobovima industrijskog humanoida", Zbornik radova 57. Konferencije za ETRAN, Zlatibor, 3-6. juna 2013., RO1.2, str. 1-6. ISBN: 978-86-80509-68-6.

Организатор ЕТРАН конференције је овај рад наградио као најбољи рад у секцији за роботiku за 2013. годину.

18. Petrović, P., Danilov, I., Lukić, N., "Brza prostorna digitalizacija okruženja primenom triangulacije struktuirane svetlosti u robotskom zavarivanju", Zbornik radova 57. Konferencije za ETRAN, Zlatibor, 3-6. juna 2013., RO3.1, str. 1-6. ISBN: 978-86-80509-68-6.

19. Petrović, P. B., Hodolić, J., Budak, I., Danilov, I., Lukić, N., "Senzorski sistemi bazirani na optičkoj triangulaciji i njihova primena u tehnologiji robotskog zavarivanja", Proceeding / International Scientific Conference "Metrology and Quality in Production Engineering and Environmental Protection", ETIKUM 2013, Novi Sad, 12-13. Jun 2013., str. 15-22., ISBN: 978-86-7892-512-2.

5. Техничка решења (M85):

1. Petrović, P. B., Danilov, I., Lukić, N., Miković, V., "Eksperimentalni sistem za optičku triangulaciju struktuirane svetlosti", Novorazvijana oprema (prototip) u okviru projekta TR35007, 2012.

2. Petrović, P. B., Lukić, N., Danilov, I., "Sistem za eksperimentalno ispitivanje koncepta servo-upravljanog robotskog zgloba sa varijabilnom krutošću", Novorazvijana oprema (prototip) u okviru projekta TR35007, 2012.

3. Jakovljević, Ž., Petrović, P. B., Miković, V., Lukić, N., Danilov, I., "Metoda za prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži", Nova metoda razvijena u okviru projekta TR35007, 2012.

4. Petrović, P. B., Danilov, I., Lukić, N., Nikić, D., "Inteligentni mikro-elektromehanički senzorski sistem za merenje ugaonih koordinata položaja prostornih objekata u realnom vremenu", Novorazvijana oprema (prototip) u okviru projekta TR35007, 2013.

5. Petrović, P. B., Danilov, I., Lukić, N., Nikić, D., "Sistem za adaptivno upravljanje procesom plazma rezanja", Novorazvijana oprema (prototip) u okviru projekta TR35007, 2013.

6. Petrović, P. B., Danilov, I., Lukić, N., Nikić, D., "CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja", Novorazvijana oprema (prototip) u okviru projekta TR35007, 2013.

6. Учешће у домаћим научно-истраживачким пројектима:

1. Интелигентни роботски системи за екстремно диверзификовану производњу, Пројекат финансиран од стране Министарства просвете и науке, ТР 35007, 2011.-2014., Руководилац пројекта: др Петар Б. Петровић дипл.инг.

7. Учешће у домаћим стручним пројектима:

2. Флексибилни технолошки систем за завршну монтажу и роботизовано заваривање склопа папуче багера, Пројекат финансиран од стране компаније Колубара Метал из Вреоца, Уговор број МФБ 347/1 од 28.02.2011. године, односно КМ 1900 од 10.02.2011. године, Руководилац пројекта Проф. др Петар Б. Петровић.

Током свог усавршавања, у континуитету, почев од 2011. године па до дана пријаве докторске дисертације, кандидат је активно учествовао у извођењу наставе на мастер студијама Машинског факултета, на следећим предметима Катедре за производно машинство:

- Пројектовање обрадних система,
- Технологија монтаже,
- Мехатронски системи, и
- Компјутерско управљање и надзор у аутоматизацији производње.

Ангажовање кандидата је обухватило аудиторна вежбања, лабораторијска вежбања и вођење израде студентских пројеката из претходно наведених предмета.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података, научних и стручних активности, објављених радова и спроведених експерименталних истраживања, Комисија сматра да постигнути резултати показују да је кандидат, студент докторских студија Иван Данилов, испунио све формалне услове дефинисане наставним планом и програмом докторских студија на Машинском факултету у Београду и да поседује респективне предиспозиције, афинитет, истрајност и јаку мотивацију за самосталан, ефикасан и креативан научно-истраживачки рад, подједнако у теоријском као и у експерименталном домену.

Детаљним увидом у садржај објављених радова, као и ангажовању кандидата у истраживачким, образовним и другим научно-стручним активностима, Комисија закључује да су резултати које је кандидат остварио у свом професионалном раду у сагласности са истраживачким оквиром на предложеној теми докторске дисертације, и да се на основу тога може закључити да ће кандидат самостално, креативно и на агилан начин спровести предложена истраживања из којих ће проистећи респективан научно-истраживачки резултат, са мерљивим доприносом научној области којој предложена тема припада.

2. Предмет и циљ истраживања

Научна област машинског инжењерства у којој се спровode истраживања у оквиру ове докторске дисертације односи се на производне технологије, са посебним фокусом на теоретске и апликативне аспекте интелигентних технолошких система за монтажу индустријских производа, базираних на масовној примени интелигентних индустријских робота, способних да функционишу у недовољно познатом динамичком окружењу, да тимски раде са човеком и да на бази сопствених когнитивних способности, аутономно унапређују своје перформансе кроз аквизицију тацитних знања и вештина које човек користи у извршавању производних задатака у оквиру система за монтажу. Даље се дефинишу: 1) Општи контекст који шире одређује предмет истраживања у области производних технологија и 2) Садржај планираних истраживања.

2.1. Опши контекст и осврт на релевантне истраживачке изворе и остварене резултате

Савремени трендови у развоју производних технологија који су доминантно одређени друштвеним процесима, утицајем глобализованог тржишта и убрзаним развојем генеричких технологија, посебно врло динамичним развојем у домену информационих и комуникационих технологија, доводе до убрзане трансформације сада доминирајуће парадигме масовне производње у нови концептуални оквир односно, парадигму масовне кастомизације. Масовна кастомизација подразумева масовну персонализацију производа, са производњом која је доминантно вођена захтевима познатог купца, а у техничком смислу екстремно варијантна. Трансформациони процеси ове врсте из основа мењају производне технологије, постављајући пред истраживаче изазов развоја нове генерације производних технологија, са потенцијалом ефикасне производње у серијама врло малог обима, укључујући појединачну и уникатну производњу, истовремено омогућавајући да економске перформансе такве производње буду еквивалентне оним које се остварују кроз оквир масовне производње. Производни систем, конзистентан са захтевима производне парадигме масовне кастомизације, по својим својствима флексибилности, односно, способности прилагођавања променама (планираним и непланираним), мора да се приближи и изједначи са својствима мануелних система, што обухвата: 1) способност да се брзо прилагоди наглим променама производних задатака, укључујући и реаговање у реалном времену на широк спектар неодређености и поремећаја; 2) способност самоорганизације/реконфигурације на свим организационим нивоима и техничким подсистемима, 3) својство потпуне информационе интеграције функционалних подструктура, укључујући и човека (несметано преплитање биолошких и инжењерских система), и 4) способност екстензивне интерактивности са окружењем и висока аутономност у когнитивном простору која обухвата: способност фузије сензорских информација, препознавање облика, антиципацију, закључивање и доношење одлука, и учења кроз генерализацију понашања, са инхерентним способностима за пренос знања и вештина са човека на машину. Производни систем ове врсте као своје основно обележје има когницију, и зато је концептуални оквир парадигме масовне кастомизације у суштини концепт интелигентних производних система, а његова практична вредност је у највећој мери условљена мером којом су когнитивна својства и својства интелигентног понашања уграђена у производни систем у целини и/или његове компоненте. Овакав производни систем се посматра као кибернетско-физички систем са производним процесом као основном активношћу.

Постојеће стање као и трендови у стварању генеричких знања релевантних за когнитивне аспекте производних система, указују на чињеницу да изградња аутономних система који би били практично применљиви у индустријским условима и сценаријима који одговарају концептуалним оквирима које одређује парадигма масовне кастомизације, није реално остварива у скорој будућности. Зато се решење мора да потражи кроз изградњу хибридних система, односно система који ће садржати радикално нове облике физичке и когнитивне интеракције човека са роботом и његовим окружењем, обезбеђујући критичне садржаје као што су: способност комплексне двосмерне интеракције са непознатим окружењем, доношење одлука и синтеза решења у реалном времену, и способност учења без и са надзором кроз различите технике препознавања облика и механизме генерализације.

У истраживачком и апликативном смислу ова област поседује висок степен актуелности. Ограничавајући са само на истраживачки простор Европске уније, највиши степен истраживачке релевантности за ову докторску дисертацију може се пронаћи у програму Фабрике будућности (*Factories of Future – FoF*) који је Европска комисија, као посебан тематски приоритет сместила у FP7 и H2020 оквирне програме, у делу који се односи на информационе и комуникационе технологије. Временска оса истраживања на програму фабрика будућности захвата период од преко једне деценије, при чему су дефинисана три основна стратешка подпрограма који се директно односе на производне технологије: Програм Паметне фабрике (*Smart Factorues*), Програм Виртуелне фабрике (*Vurtual Factorues*)

и Програм Дигиталне фабрике (*Digital Factories*). У оквиру H2020 истраживачког циклуса, тематски оквири FoF програма се додатно проширују новим истраживачким доменом кибернетско-физичких система (*Cyber-Physical Systems*), којим се истраживања посебно усмеравају на област роботике, мехатронике и когнитивних система. Само за област истраживања која се односе на когнитивну роботiku Европска комисија је за петогодишњи период 2007. – 2012. године, определила буџет од 536 милиона EUR, препознајући роботiku као кључни садржај за јачања конкуритивности европске индустрије. У циљу ближе илустрације садржаја истраживачких активности у претходно наведеном корпусу стратешких програма за развој производних технологија, даље се наводе три интегрисана пројекта чији су тематски оквири и истраживачки садржаји високорелевантни за ову докторску дисертацију.

Пројекат PHIRENDS је FP6 пројекат под називом: *Physical Human-Robot Interaction: Dependability and Safety*, финансиран у периоду 2006. до 2009. године, са паневропским конзорцијумом од 6 институција, укључујући и индустријске компаније. Основни иновативни садржај овог пројекта подразумева истраживање новог концепта за градњу индустријских робота који ће омогућити безбедну колаборативну интеракцију човека и робота, укључујући и радикалне иновације које ће суштински променити конвенционални концепт индустријског робота и трансформисати га у индустријског хуманоида. У том смислу се наводи: “*We propose an integrated approach to the co-design of robots for safe physical interaction with humans, which revolutionizes the classical approach for designing industrial robots – rugged design for accuracy, active control for safety – by creating a new paradigm: design robots that are intrinsically safe, and control them to deliver performance*”. Суштина инжењерске комплексности садржана је у контрадикцији између безбедности и перформанси робота (робота какве данас познајемо и какви раде на индустријским линијама).

Пројекат SMERobot је FP6 пројекат под називом: *The European Robot Initiative for Strengthening the Competitiveness of SMEs in Manufacturing*, финансиран у периоду 2005 до 2009. године, координатор Fraunhofer IPA, буџет пројекта 14.9 милиона EUR, са паневропским конзорцијумом од 22 институције, укључујући и 14 индустријских компанија. Овај пројекат је имао за циљ да истражи један врло деликатан простор у коме индустријски хуманоиди носе велики потенцијал, а то је масовна примена робота у оквиру малих и средњих предузећа и примена у производњи изразито диверзификованог садржаја, малих серија и кратког тржишног века. Истраживања на овом пројекту су фокусирана у три домена са циљем да се изграде теоретска и практична знања за три основна резултата: 1) Робот способан да разуме инструкције у форми које користи човек у међусобној комуникацији (говор, гестикулација и графика); 2) Безбедан и продуктивни робот свестан човековог присуства у заједничком радном простору (кооперативан, без ограда); 3) Инсталисање и конфигурисање роботског система у року од три дана (модуларан систем са *plug-and-produce* компонентама). Пројекат је генерисао низ иновативних садржаја повезаних са комплексним приступом у оквиру кооперативног рада човек-робот.

Пројекат ROSETTA је FP7 пројекат под називом: *Robot control for Skilled Execution of Tasks in natural interaction with humans; based on Autonomy cumulative knowledge and learning*, који се финансира у периоду 2009 до 2013. године, са буџетом од 10 милиона EUR (large-scale integrated project, Challenge 2: Cognitive systems, Interaction, Robotics) и паневропским конзорцијумом од 8 институција, укључујући и 3 индустријске компаније, координатор пројекта компанија ABB Robotics. ROSETTA пројекат је први пројекат из роботике који је на најдиректнији начин усмерен ка изградњи индустријских хуманоидних робота који ће бити инхерентно погодни за колаборативни рад са човеком, у индустријским условима, на линијама за монтажу. У истраживачком смислу, ROSETTA пројекат је имао четири основна циља: 1) Обезбедити применљивост робота за извршавање комплексних задатка са високом флексибилношћу и робусношћу; 2) Поједноставити активности на прилагођавању робота за

прелазак са једног на други радни задатак (производ); 3)Стварање система за лако програмирање ROSETTA роботских функционалности без потребе за високоверзираним програмерима; 4)Развој нових сензорских и управљачких метода за безбедну интеракцију човека и робота у реалном индустријском окружењу. Поред доприноса у теоретском домену, основни практични излаз овог пројекта је концепт робот у облику дворуког индустријског хуманоида са 14 степени слободе, под називом FRIDA, који је у складу са постављеним циљевима и истраживачким резултатима конзорцијма пројекта, развијен од стране компаније ABB Robotics.

У националним оквирима, истраживања која ће бити спроведена у оквиру ове докторске дисертације биће смештена у контекст пројекта TP35007: Интелигентни роботски системи за екстремно диверзификовану производњу, који финансира Министарство просвете и науке за период 2011-2014, као пројекат националног значаја за област технолошког развоја индустрије Србије. Пројекат TP 35007 се реализује у оквиру Лабораторије за Кибернетику и Мехатронске системе (CMSysLab), Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат, Иван Данилов, је члан пројектног тима пројекта TP35007 и његов рад на овом пројекту је финансиран је од стране Министарства просвете и науке, са статусом младог истраживача докторских студија.

Даље се наводи преглед научних публикација релевантних за претходно разматран општи контекст и иницирање истраживања која се спроводе у оквирима ове докторске дисертације:

- [1] Aschhoff, B., Crass, D., Cremers, K., Grimpe, C., and Rammer, C.: European Competitiveness in Key Enabling Technologies, Centre for European Economic Research (ZEW), Mannheim, Germany, 2010.
- [2] European commission, Directorate-general for research, Directorate G – Industrial techn.: FACTORIES OF THE FUTURE - PPP Strategic Multi-annual Roadmap, 2010, ISBN 978-92-79-15227-6.
- [3] Jovane, F., Westkämper, E., and Williams, D., THE MANUFUTURE ROAD - Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing, 2009, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-77011-4.
- [4] European commission: Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing Horizon 2020 - The Framework Programme for Research and Innovation (2014-2020), Brussels, COM(2011) 809 final, 2011/0401 (COD).
- [5] Jovane, F., Koren, Y., Boër, C.R., "Present and Future of Flexible Automation - Towards NewParadigms", CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 52, Issue 2, 2003, Pages 543–560, DOI 10.1016/S0007-8506(07)60203-0.
- [6] Westkämper, E.: Towards The Re-Industrialization of Europe – A Concept for Manufacturing for 2030, Springer Verlag, Berlin–Heidelberg 2014, ISBN 978-3-642-38501-8, DOI 10.1007/978-3-642-38502-5.
- [7] Davies, S.: Future Perfect, Addison Wesley Publishing Company, 1987, ISBN: 0-201-59045-X.
- [8] Pine II, Joseph B. Mass Customization: The New Frontier in Business Competition, Harvard Business School Press (January 1999), ISBN-10: 0875849466.
- [9] A. Albu-Schäffer, O. Eiberger, M. Grebenstein, S. Haddadin, C. Ott, T. Wimböck, S. Wolf, G. Hirzinger, "Soft robotics - From torque feedback controlled light-weight robots to intrinsically compliant systems", IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 15, no. 3, pp. 20-30 (September 2008).
- [10] A. De Luca, F. Flacco, R. Schiavi, A. Bicchi, "Nonlinear decoupled motion-stiffness control and collision detection/reaction for the VSA-II variable stiffness device", 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Saint Louis, MO, USA (October 2009).
- [11] Haddadin, S., Suppa, M., Fuchs, S., Albu-Schäffer, A., Hirzinger, G., "Towards the robotic co-worker, 14th International Symposium on Robotics Research", Luzern, Switzerland (August/September 2009).
- [12] Pires, J.N., Veiga, G., Araujo, R., "Programming-by-demonstration in the coworker scenario for SMEs", Industrial Robot: An International Journal, Vol. 36 Iss: 1, 2009, pp.73-83.
- [13] Petrović P., "Model aktivnog adaptivnog upravljanja procesom spajanja delova u montaži primenom redundantnih robota", Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1996.

- [14] Alami, R., Albu-Schaeffer, A., Bicchi, A., Bischoff, R., Chatila, R., de Luca, A., de Santis, A., Giralt, G., Guiochet, J., Hirzinger, G., Ingrand, F., Lippiello, V., Mattone, R., Powell, D., Sen, S., Siciliano, B., Tonietti, G. and Villani, L. (2006), "Safe and dependable physical human-robot interaction in anthropic domains: state of the art and challenges", Proc. of the Workshop on Physical Human-Robot Interaction in Anthropic Domains, IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Beijing, October 10.
- [15] Petrović, P., Lukić, N., Danilov, I., "Industrijski humanoidi - novi koncept robota za kolaborativni rad čovek-mašina u sistemima za robotsku montažu", Zbornik radova 38. JUPITER konferencija, 34. simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Beograd 2012, str. 3.126-3.139, ISBN: 978-86-7083-757-7
- [16] J.N. Pires, A. Loureiro, and G. Bolmsjo, "Welding Robots: Technology, Systems Issues and Applications", Springer-Verlag London Limited 2006, ISBN-10: 1852339535
- [17] T.-J. Tarn, S.-B. Chen, C. Zhou (Eds.), Robotic Welding, Intelligence and Automation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, ISBN-10 3-540-73373-6.
- [18] J. B. Park, S. H. Lee, and I. J. Lee, Precise 3D Lug Pose Detection Sensor for Automatic Robot Welding Using a Structured-Light Vision System, Sensors 2009, 9, pp.: 7550-7565; doi: 10.3390/s90907550
- [19] Petrović, P., Danilov, I., Lukić, N., " Brza prostorna digitalizacija okruženja primenom triangulacije strukturirane svetlosti u robotskom zavarivanju" ZBORNIK RADOVA 57. KONFERENCIJE ZA ETRAN, Zlatibor, 3-6. jun 2013., RO3.1.
- [20] B.G. Batchelor and P.F. Whelan: Intelligent Vision Systems for Industry, Springer, 2002, ISBN-10: 3-540-19969-1.
- [21] H. B. Wu, Y. Chen, M. Y. Wu, C. R. Guan and X. Y. Yu, 3D Measurement Technology by Structured Light Using Stripe-Edge-Based Gray Code, Journal of Physics: Conference Series 48 (2006), 537–541.
- [22] W. Wilke, Segmentierung und Approximation großer Punktwolken, Dissertation, Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt 2002.
- [23] Jasso, H., Triesch, J.: A Virtual Reality Platform for Modeling Cognitive Development, Chapter in Biomimetic Neural Learning for Intelligent Robots, pp 211-224, Springer Berlin Heidelberg, 2005, ISBN 978-3-540-31896-5

2.2. Приказ предмета istraživanja i hipotetičkih stavova o problemu koji se istražuje

Polazeći od prethodno opisanog konteksta i fokusirajući se na njegove ključne istraživačke izazove, a takođe, уважавајући и истраживачке приоритете пројекта TP35007, у оквиру ове докторске дисертације биће спроведена теоретска и експериментална истраживања подсистема који омогућавају двосмерну интеракцију човека и машине у колаборативном извршавању радних задатка у оквиру технолошког система за роботизовану монтажу. За разлику од постојећег стања у овој области, где се систем управљања роботске ћелије и самог робота у основу понашају као пасивни системи, способни да круто извршавају априори дефинисан управљачки задатак, без релевантних потенцијала да реагују на промене, односно одступања од номинала (номиналног задатка, номиналних параметара и структуре окружења у којем се задатак извршава и слично), у оквиру ове докторске дисертације основни истраживачки и развојни задатак ће бити усмерен на изградњу оних компонената које ће омогућити напредак у три кључна садржаја производног система који је способан да задовољи потребе које намеће нова производна парадигма масовне кастомизације: реактивност, аутономност и интерактивност.

Истраживачки циљ у овој дисертацији није на било који начин повезан са ергономијом, која као инжењерска наука такође изучава интеракцију човека и техничких система, подједнако у физичком и когнитивном домену. Један од основних циљева ергономије је да технички систем прилагоди човеку, како би се међусобна интеракција учинила природном и ефикасном. У оквиру ове дисертације се интеракција човека и роботског система истражује са дијаметрално супротним циљем минимизације учешћа човека у раду производног система и његовог потпуног елиминисања као коначног решења – производни систем као аутономни технолошки ентитет способан да у потпуности самостално извршава производне задатке на начин на који то ради човек али без учешћа човека.

Знања којим располажемо и технологија на којој се та знања могу да практично примене не омогућавају остваривање потпуно аутономног понашања производног система у извршавању неког производног задатка. Због тога се у оквиру ове докторске дисертације аутономност повезује са интерактивношћу, са циљем да се кроз симбиотски однос човека и машине генерише једна нова технолошка платформа која ће поседовати реални потенцијал за ефективну примену у пракси. Суштина је у томе да се изгради одговарајући интерфејс који ће омогућити да човек и робот остваре ефективну комуникацију колаборативног типа. Тај интерфејс, као посебан управљачки слој на највишем хијерархијском нивоу управљачког система технолошке ћелије за роботску монтажу поседовао би својства когниције, односно омогућио следеће функције: 1) ефективну перцепцију укупног окружења технолошке ћелије за монтажу и радног задатка који изводи роботски систем самостално или тимски са човеком, 2) функцију обраде стимулуса које прима сензорски систем од непосредног радног окружења и/или надређених система, 3) доношење одлука кроз апстрактне процесе генерализације, препознавања, и закључивања, и 4) генерисање акције, кроз репланирање претходно дефинисаних номиналних задатака, или потпуно аутономно генерисање плана извођења претходно непознатог задатка под надзором човека, као надређеног (биолошког) система, интелектуално супериорног и комуникативног са роботском ћелијом за монтажу, са једне стране и вишим нивоима технолошког окружења производног система, са друге стране. Интелектуална супериорност човека у овом контексту се односи на супериорност у доношењу довољно добрих одлука, конзистентних и конвергентних са основним технолошким задатком који треба да изврши овакав хибридни технолошки систем. Рачунски комплексни задаци, укључујући и генерисање варијантних решења или сценарија за извођење радног задатка у измењеном контексту који је одређен реалним информационим садржајем генерисаним од стране сензорског система, се у оваквом контексту потпуно аутоматски и аутономно извршавају (самоорганизација система), остављајући човеку само онај део задатка који се односи на функцију надзора и са тим вези доношења мисаоно интензивних одлука највишег степена комплексности и на највишем хијерархијском нивоу.

У оквиру ове дисертације биће постављен општи формални концепт претходно описаног когнитивног интерактивног интерфејса. Његова практична верификација и тестирање критичних теоретских садржаја биће спроведена у оквиру система за роботизовано електrolучно заваривање.

Процес заваривања је један од основних процеса у технологији монтаже чија је основна функција да физички стабилизује геометрију склопа који се монтира и оствари његов механички интегритет. Мада је примена робота у технологији заваривања једна од првих успешних индустријских примена робота, карактеристично је то да је стање у индустријској пракси такво да је аутономија робота у извршавању ове врсте задатака минимална, као и интерактивност са човеком, односно оператором који управља радом технолошке ћелије. Са друге стране, склопови који се заварују поседују широк спектар случајних одступања од номинала, тако да се радно окружење робота у којем он треба да изврши постављени задатак не само параметарски, већ и структурно разликује од претпостављаног, тако да се у овом случају може говорити о раду у недовољно структурираном окружењу у пуном смислу значења ове фразе. Степен неодређености је такав да се роботско заваривање у општем случају може сматрати екстремним примером рада робота у недовољно познатом окружењу.

У оквиру Лабораторије за кибернетику и мехатронске системе (CMSysLab), Машинског факултета, Универзитета у Београду, постоје потребни експериментални ресурси за практично спровођење свих експерименталних радњи које се планирају у оквиру ове дисертације. Поред антропоморфног робота са шест степени слободе, специјализованог за процес електrolучног заваривања (Yaskawa MA1400), лабораторија располаже различитим оптичким сензорским системима који ће бити коришћени за остваривање функције визуелне перцепције.

Интеракција човека са роботским системом са основним циљем трансфера знања, у основи ће бити мултимодална, при чему се она остварује у виртуелном свету изграђеном на 3D графичким моделерима који се данас користе као CAD (*Computer Aided Design*) платформе за пројектовање производа, визуелизацију и симулацију. CMSysLab располаже и ресурсима ове врсте, укључујући и специјализоване библиотеке API (*Application Programming Interface*) рутина, односно специјализованих софтверских алата за неке од комерцијално расположивих CAD развојних окружења.

Оваква експериментално-развојна инсталација велике техничке комплексности, која у основи представља базни градивни блок дигиталне фабрике конзистентне са новом производном парадигмом масовне кастомизације, биће реализована самоградњом у оквиру ове дисертације, а у складу са планираним активностима на пројекту TP35007. Базне компоненте ове експерименталне инсталације су обезбеђене од стране ресорног министарства Владе Републике Србије као капитална опрема за пројекат TP35007.

2.3. Научни циљеви истраживања

Општи научни циљ докторске дисертације је допринос стварању новог генеричког знања и практичних искустава, неопходних за изградњу нове генерације интелигентних система за монтажу, применљивих у условима високоваријантне малосеријске и појединачне производње, у оквирима концепта који је дефинисан новом производном парадигмом масовне кастомизације.

Посебан научни циљ докторске дисертације је поставка концепта и стварање новог генеричког знања неопходног за изградњу двосмерног интерфејса који ће омогућити ефективну когнитивну интеракцију човека и машинског система у оквиру система за роботску монтажу, са циљем постизање потребног степена аутономности и самоорганизације за генерисање довољно реактивног и довољно садржајног одзива на нагле промене радног окружења у контексту извршавања задатака високоваријантне, малосеријске монтаже заварених склопова. Овај интерактивни интерфејс се може разумети као комуникациони канал за аквизицију, односно трансфер знања са човека на машински систем, при чему машински систем поседује одговарајућа својства интелигентног понашања.

Други посебан научни циљ јесте допринос редефинисању концепта индустријског робота у смислу изградње фундаментално новог концепта индустријских робота, односно индустријских хуманоидних робота – индустријских хуманоида, који ће бити специјализовани за домен технологије монтаже, а по својим перформансама, пре свега у понашању, бити способни да се приближе перформансама човека, укључујући и способност да на кооперативан и тимски начин рада са човеком извршавају комплексне технолошке задатке унутар система за монтажу.

3. Полазне хипотезе

Ова докторска дисертација полази од следећих хипотеза које су у основи базиране на претпоставкама које су изведене из прелиминарних истраживања које је кандидат спровео у оквиру свог усавршавања током докторских студија и паралелно кроз рад на пројекту TP35007, а који су презентирани стручној и научној јавности кроз саопштења на домаћим и међународним скуповима и научним чланцима објављеним у часописима и монографским књигама:

Хипотеза #1:

Општа теорија аутомата и регуларна граматика типа 3 према класификацији Чомског образују довољан формални оквир за потпуни опис технолошких релација и репрезентацију технолошких знања унутар система за роботизовану монтажу.

Алтернативна формулација: Применом регуларне граматике типа 3 могуће је генерисати азбуку и језик за функционално и технички ефикасну комуникацију између машинског система (робот) и биолошког система (човек) унутар произвољног система за роботску монтажу, укључујући и систем за роботизовано заваривање.

Хипотеза #2:

Концепт лингвистичке променљиве и апроксимативно закључивање који се изводе из концепта фази скупова и фази логике довољан су математички оквир за формално консеквентно моделирање релација и решавање проблема комплексности у процесима когнитивне интеракције човека и робота (трансфер знања и вештина са човека на роботски систем) унутар технолошког система за монтажу.

Хипотеза #3:

Визуелна перцепција и информациони садржај генерисан у том контексту могу се применом концепта апроксимативног закључивања и регуларних граматика, рачунски ефикасно употребити за формирање интерактивног виртуелног модела роботског система за монтажу и процеса монтаже и као такви инкорпорирати у окружење типичног графичког моделера склопа који се монтира и његових саставних делова.

4. Научне методе истраживања

У стварању генеричких знања у оквиру ове дисертације биће коришћење следеће истраживачке методе квантитативне анализе феномена повезаних са предметом истраживања у оквиру ове докторске дисертације:

1. Аналитичке методе линеарне алгебре за решавање проблема неконфликтне суперпозиције примарних и секундарних задатака код кинематски редундантних робота и за примарну обраду/трансформацију информација визуелне повратне спреге;
2. Општа теорија аутомата и вештачких језика за изградњу апстрактних репрезентација технолошког задатка и плана његове реализације;
3. Аналитичке методе нумеричке обраде сигнала које омогућавају симултану анализу сензорских сигнала у фреквентном и временском домену;
4. Методе апроксимативног закључивања базиране на теорији фази скупова и из њих изведене фази логике за системско решавање проблема инхерентне комплексности и неодређености;
5. Методе дискретне симулације за верификацију развијених закона управљања кретања робота у извршавању суперпонираног примарног и секундарних задатака и верификације аутономно синтетисаних трајекторија репланираног задатка;
6. Методе виртуелне реалности за визуелизацију интеракције човека и система за монтажу и за интерактивну интеграцију човека у апстрактни, кибернетски простор система за монтажу.

У циљу провере развијених теоретских модела и тестирања полазних хипотеза у реалним условима, биће примењене емпиријске методе истраживања кроз спровођење одговарајућих експеримената у лабораторијским условима.

5. Очекивани научни допринос

У оквиру ове докторске дисертације очекује се да буду остварени следећи научни доприноси који се односе на изградњу теоретских основа адаптивног понашања индустријског робота у

извршавању комплексних задатака заваривања у оквиру недовољно структурираном и динамички променљивом систему за роботску монтажу, посебно:

1. Поставка генеричких основа за изградњу нових виртуелних модела интеракције индустријског робота са недовољно структурираним окружењем у оквиру технолошког система за монтажу на бази визуелне перцепције као основног носиоца информационог садржаја (визуелна повратна спрега);
2. Конципирање и изградња рачунски ефикасних модела и алгоритама за репрезентацију и интерпретацију визуелне информације на бази примене фази логике, концепта апроксимативног закључивања и регуларних граматика (спрега теорије аутомата и концепта фази скупова у циљу формално консеквентног решавања проблеме комплексности);
3. Поставка општих формалних модела когнитивне интеракције човека и робота у оквиру технолошког система за монтажу као новог формалног оквира за изградњу хибридних производних система применљивих у условима високоваријантне производње, базираних на кооперативном раду и симбиотској интеграцији човека и машине (основа концепта дигиталне фабрике, конзистентне са новом производном парадигмом масовне кастомизације);
4. Прилог успостављању математичких основа аквизиције човековог понашања у извршавању типичних радних задатака у оквиру система за роботску монтажу – дефинисање апстрактне информационе машине за трансфер понашања и знања са човека на робота / роботски систем за монтажу, укључујући и аспекте генерализације знања и учења;
5. Формирање новог концепта за генерисање ултрабрзе визуелне повратне спреге у оквиру система за адаптивно роботско заваривање/монтажу кроз просторну аквизицију геометрије недовољно познатог окружења на бази триангулације структуриране светлости;
6. Конципирање и практична верификација новог приступа за опис технолошких релација и репрезентацију технолошких знања унутар система за роботизовано заваривање/монтажу кроз примену опште теорије аутомата (генерисање азбуке и регуларне граматике);
7. Поставка и експериментална верификација новог генеричког оквира за изградњу когнитивног интерфејса човек-роботски систем кроз интеграцију 3D CAD моделера и геометријске/тополошке информације генерисане визуелном повратном спрегом унутар система за роботску монтажу (практична валидација на примеру екстремно варијантног система за роботско електролучно заваривање).

У делу експерименталних истраживања, очекивани резултати се односе на изградњу две експерименталне инсталације:

1. Експериментална инсталација мултимодалног сензорског интерфејса базираног на триангулацији структуриране светлости за примену у роботском заваривању;
2. Експериментална инсталација за демонстрацију новог концепта интерфејса човека и робота на бази екстензије 3D CAD моделера и примене модула за фискоефикасну двосмерну спрегу у когнитивном простору – CyberFABRICATOR концепт когнитивног интерфејса који је конзистентан са новом парадигмом масовне кастомизације (екстремно варијантна производња и екстремно мале серије, укључујући случај и појединачне производње).

Ове експерименталне инсталације ће бити физички реализоване у оквиру Лабораторије за кибернетику и мехатронске системе, Катедре за производно машинство, Машинског факултета у Београду, надоградњом постојећег роботског система базираног на роботу

Yaskawa MA1400 (робот најновије генерације, специјализован за задатке заваривања, добијен као капитална опрема у оквиру пројекта TP35007, финансираног од стране ресорног министарства за науку и технолошки развој). Експериментална инсталација мултимодалног сензорског интерфејса базираног на триангулацији структуриране светлости за примену у роботском заваривању ће бити физички реализована као сопствени развој (део ових активности је већ спроведен и са тим у вези призната су техничка решења у категорији M85).

На овим експерименталним инсталацијама биће спроведене све експерименталне радње и практично верификовани базни концепти и полазне хипотезе у лабораторијским условима. По окончању ове докторске дисертације, развијене експерименталне инсталације ће бити коришћена за даља истраживања и потребе едукације, и за активно учешће у стратешким програмима технолошког развоја индустрије и укупног економског система Србије, кроз увођење нових производних технологија и њихову ефективну примену у пракси.

6. План истраживања и структура рада

6.1. Прелиминарни план истраживања

На основу до сада спроведених припремних истраживачких активности, планирана истраживања ће обухватити следеће основне групе активности:

- Преглед и систематизација постојећег стања истраживања у области роботизоване монтаже са фокусом на домен роботског заваривања и нове генерације роботских система за колаборативни / тимски рад човека и робота на линијама за монтажу – индустријски хуманоидни роботи као одговор на нову производну парадигму масовне кастомизације;
- Дефинисање основних оквира система за визуелну перцепцију као кључног носиоца информационог садржаја за остваривање ефективне интеракције робота у недовољно структурираном окружењу система за аутоматску монатажу, са посебним фокусом на домен технологије роботског заваривања;
- Концептуални оквири високоефикасних и високоробусних сензорских система за просторну аквизицију окружења у реалном времену, базираним на триангулацији структуриране (кодирани) светлости, посебно: а)принципи кодирања светлосних мапа, б)аналитички модели и рачунски високоефикасни алгоритми просторне триангулације, високоефикасни алгоритми за суперпозицију просторних облака тачака (дискретни носиоци геометријске информације о радном окружењу), ц)концептуални оквири робусности триангулације структуриране светлости и високоефикасни алгоритми за потискивање оптичких поремећаја, и д)математички модели сегментације генерисаних просторних модела и идентификације геометријских примитива;
- Истраживање примене теорије аутомата и регуларних граматика као математички формалних алата за интерпретацији генерисаних и сегментираних просторних модела окружења, и њихову интеграцију са технолошком информацијом, са посебним фокусом на област технологије заваривања, посебно: а)синтеза коначних аутомата, односно синтеза азбука и граматичких продукција за генерисање језика којим се описује геометрија и специфичне технолошке релације за опис задатка који робот треба да изврши и б)репрезентација технолошких знања преко одговарајућег аутомата и њему придодате граматике и ц)дефинисање регуларних израза над изграђеном граматиком за контекстно препознавање реалног стања окружења изведеног из визуелне повратне спреге у реалном времену;
- Истраживање аспеката комплексности у интерпретацији визуелне повратне спреге кроз оквир лингвистичке променљиве, апроксимативног закључивања и опште теорије фази

скупова, са фокусом на изградњу ефективног интерфејса за когнитивну интеракцију човека и робота;

- Когнитивни аспекти интеракције човека и робота у оквиру система за роботску монтажу – перцепција окружења, интерпретација и доношење одлука, учење и генерализација, са посебним фокусом на истраживање аспеката комплексности у интерпретацији визуелне повратне спреге кроз оквир концепта лингвистичке променљиве, апроксимативног закључивања и опште теорије фази скупова
- Изградњу ефективног интерфејса за когнитивну интеракцију човека и робота кроз интеграцију номиналних CAD просторних модела окружења, номиналног задатка и CAD интерпретираних модела реалног стања окружење изведених из информационог садржаја генерисаног визуелном повратном спрегом;
- Експериментална истраживања, посебно:
 - истраживања у домену триангулације структуриране светлости,
 - интерпретације визуелне повратне спреге у реалном времену,
 - адаптивног / аутономног понашања робота у извршавању нетривијалног задатка заваривања на бази визуелне повратне спреге и когнитивне интеракције са човеком;
- Рекапитулација истраживања у теоретском и експерименталном домену и извођење закључака, и
- Предлог даљих истраживања у области дефинисаној темом докторске дисертације.

6.2. Планирана структура докторске дисертације

Основна структура предложене докторске дисертације начелно обухвата следеће целине:

1. Уводна разматрања
2. Визуелна перцепција у интеракцији робота са неструктурираним окружењем у технолошком систему за монтажу
3. Аквизиција просторне геометрије окружења применом триангулације структуриране светлости
4. Опис технолошких релација и технолошких знања применом формалних граматика
5. Интеграција CAD просторних модела и сензорске информације
6. Концептуални оквир когнитивног човек-робот интерфејса и коресподентни виртуелни модели система и процеса монтаже
7. Експериментална верификација
8. Закључна разматрања и предлог даљих истраживања
9. Прилози
10. Преглед коришћене литературе.

7. Закључак и предлог

Детаљном анализом пријаве докторске дисертације кандидата Ивана Данилова, дипл.маш.инж. - мастер број 1730/1 од 15.09.2014. године, **Комисија закључује да је предложена тема адекватна за израду докторске дисертације и да кандидат испуњава све законске и друге услове за рад на докторској дисертацији.**

У том контексту Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да докторанту Ивану Данилову, дипл. маш. инж. – мастер, **одобри израду докторске дисертације под насловом: "Когнитивна интеракција човека и робота у кооперативном извршавању радних задатака у оквиру технолошког система за монтажу" у научној области Машинство.**

За ментора за рад на овој дисертацији предлаже се др Петар Б. Петровић, редовни професор на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 27. октобар 2014. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Петар Б. Петровић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Проф. др Бојан Бабић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Проф. др Љубодраг Тановић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Доц. др Бранко Кокотовић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Проф. др Бранко Ковачевић,
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Кандидат: **Иван ДАНИЛОВ**, дипл.инж.маш.-мастер

Име и презиме ментора: **др Петар Б. ПЕТРОВИЋ**, дипл.инж.маш

Звање: **редовни професор**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1	Petrovic, P., Jakovljevic, Z., <i>Dynamic Compensation of Electrical Runout in Eddy Current Contactless Measurements of Non-Stationary Ferromagnetic Target</i> , Sensor letters, Vol.7, 191–202, 2009, doi:10.1166/sl.2009.1031, ISSN 0956-5515, (IF 1.587)	M21
2	Petrovic, P., Jakovljevic, Z., Milacic, V., <i>Context sensitive recognition of abrupt changes in cutting process</i> , Expert Systems with Applications 37, 2010, pp: 3721–3729, 10.1016/j.eswa.2009.11.053, ISSN 0957-4174, (IF 2.596)	M21
3	Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Hodolic, J., <i>Contact states recognition in robotic part mating based on support vector machines</i> , The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, pp: 1-19, DOI 10.1007/s00170-011-3501-5, ISSN 0268-3768, (IF 2.068)	M21
4	Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Mikovic, V., Pajic, M., <i>Fuzzy Inference Mechanism for Recognition of Contact States in Intelligent Robotic Assembly</i> , Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, pp: 1-17, DOI 10.1007/s10845-012-0706-x, Print ISSN 0956-5515, (IF 1.278)	M22
5	Antic, A., Petrovic, P.B., Zeljkovic, M., Kosec, B., and Hodolic, J., <i>The Influence of Tool Wear on the Chip-Forming Mechanism and Tool Vibrations</i> , Materials and technology 46 (2012) 3, pp: 279–285, UDK 620.178.1:621.941, ISSN 1580-2949, (IF 0.571).	M23

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, AHCI 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 односно 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 27.10.2014. године

М.П.
