

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

942/5

(Број захтева)

25.06.2015. године

(Датум)

З А Х Т Е В**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06)“, дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

ALI KARKARA A. DIRYAG

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ALI KARKARA A. DIRYAG** уписан на Докторске студије 2009. године.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Подноео је захтев за израду докторске дисертације:

MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM**МАШИНСКО УЧЕЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ РОБОТСКОГ СИСТЕМА**

Универзитет је дана 20.01.2014. год. својим актом под бр. 61206-32/2-14 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM**МАШИНСКО УЧЕЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ РОБОТСКОГ СИСТЕМА**Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ALI KARKARA A. DIRYAG**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 28.05.2015. године, одлуком факултета под бр. 942/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Зоран Миљковић	Ред.проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
2. Др Бојан Бабић	Ред.проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
3. Др Драган Александрић	Ванр.проф.	Моторна возила	Машински факултет Београд
4. Др Марко Митић	Научни сарадник	Производно машинство	Машински факултет Београд
5. Др Мирко Ђапић	Ванр. проф.	Производно машинство	Универзитет у Крагујевцу Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 25.06.2015. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –

Број: 942/4

Датум: 25.06.2015. године

Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: проф. др Зоран Миљковић, ментор, проф. др Бојан Бабић, проф. др Драган Алексендрић, др Марко Митић, научни сарадник, Машински факултет Београд и проф. др Мирко Ђапић, Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, о оцени докторске дисертације „Machine learning in intelligent robotic system (Машинско учење интелигентног роботског система)“ студента докторских студија Ali Karkara A. Diryag, M.Sc., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 25.06.2015. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (МАШИНСКО УЧЕЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ РОБОТСКОГ СИСТЕМА)“** студента **ALI KARKARA A. DIRYAG, M.Sc..**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Милорад Милованчевић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији
кандидата Ali Karkara A. Diryag, M.Sc.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 942/2 од 28.05.2015.г. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ali Karkara A. Diryag, M.Sc., под насловом:

„MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM” (Машинско учење интелигентног роботског система)

После прегледа достављене Дисертације, других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је уписао докторске студије шк. 2009/2010. године, а тему докторске дисертације пријавио је под називом: „MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (Машинско учење интелигентног роботског система)” и за ментора је предложио проф. др Зорана Миљковића. На основу пријаве кандидата 2167/1 од 04.11.2013.г., ННВ Машинског факултета у Београду је одлуком бр. 2167/2 од 28.11.2013.г. прихватило предлог и именovalo Комисију за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације и њене научне заснованости у саставу: др Зоран Миљковић, ред.проф. (ментор), др Бојан Бабић, ред.проф., др Угљеша Бугарић, ред.проф., др Драган Александрић, ванр.проф., др Мирко Ћапић, ванр.проф., Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву. На основу извештаја Комисије и одлуке ННВ Машинског факултета у Београду поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду (захтев бр. 2167/5 од 26.12.2013.г.) које је на седници одржаној 20.01.2014.г. донело одлуку да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Ali Karkara A. Diryag, M.Sc. (одлука 02 број: 61206-32/2-14 од 20.01.2014.г.), а на основу чега је 21.01.2014.г. Декан Машинског факултета у Београду донео закључак бр. 216/1 (архивирано 30.01.2014.г.) о одобравању рада на предметној дисертацији под менторством проф. др Зорана Миљковића.

На основу извештаја проф. др Зорана Миљковића, ментора, од 19.05.2015.г. (ев. бр. 942/1), да је докторанд Ali Karkara A. Diryag, M.Sc. завршио докторску дисертацију под називом „MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (Машинско учење интелигентног роботског система)”, као и сагласности Координатора студија на страном језику и Комисије за докторске студије, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је одлуку број 942/2 од 28.05.2015.г. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Зоран Миљковић, ред.проф., др Бојан Бабић, ред.проф., др Драган Александрић, ванр.проф., др Марко Митић, научни сарадник, др Мирко Ћапић, ванр.проф., Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (Машинско учење интелигентног роботског система)” припада области техничких наука (машинство) и ужој научној области Производно машинство. Израдом докторске дисертације руководио је др Зоран Миљковић, редовни професор на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Датум рођења: 10.04.1969.
Место рођења: Сирт, Либија
Националност: Либијска
Брачно стање: Ожењен
E-mail: ali6981@gmail.com

Академска каријера

2009 – данас	Ph.D. студент, Универзитет у Београду-Машински факултет, Србија
2001 – 2004	M.Sc., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, China
1990 – 1994	B.Sc., Bright Star University of Technology, Braga, Libya
1985 – 1987	High school, Auqba Bin Nafaa School, Sirte, Libya
1982 – 1984	Secondary school, Ben Kaldoon School, Sirte, Libya
1975 – 1981	Primary school, Alfath School, Sirte, Libya

Радно искуство

2005 – 2009	Асистент предавач Atthadi University, Sirte, Libya
1998 – 2000	Директор Бироа за обуку Министарства просвете и стручне обуке, Libya
1996 – 1997	Руководилац основног и средњег нивоа обуке, Министарство просвете и стручне обуке, Libya
1995 – 1996	Машински инжењер у предузећу за услуге и одржавање административних центара, Sirte, Libya
1994 – 1995	Инжењер у предузећу за промет нафте и нафтних деривата „Брага“, Sirte, Libya

Енглески језик: говори, чита, пише

Рад на рачунару: напредно коришћење (MS Office и MATLAB® софтверски пакет)

Истраживачке области: Производно машинство, Роботика, Аутономни системи и машинско учење, Вештачке неуронске мреже

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Ali Karkara A. Diryag, M.Sc., под називом „MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (Машинско учење интелигентног роботског система)” изложена је на 305 страница и садржи 56 слика и дијаграмских приказа, 11 табела и

159 коришћених референтних литературних извора. Докторску дисертацију чине следећих седам поглавља, списак литературе и прилог:

1. Увод и мотивација за истраживање (Introduction and motivation)
 2. Циљеви и главни приступ истраживању (Research objectives and approach)
 3. Машинско учење роботског система - Приказ стања у области истраживања (State-of-the-art review)
 4. Предикција нежељеног рада и отказа роботског система применом *MATLAB*[®] и *BPnet* софтверских пакета (Robotic failure prediction in *MATLAB*[®] and *BPnet* software)
 5. Интелигентни мобилни робот у технолошком окружењу (Intelligent mobile robot in a manufacturing environment)
 6. Експериментална верификација оригиналног алгорита предикције нежељеног рада и отказа роботског система применом система вештачких неуронских мрежа (Experimental study: prediction of robot failures using neural networks)
 7. Закључак и правци будућих истраживања (Conclusions and future work)
- Литература (References)
Прилог (Appendix)

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу текста докторске дисертације дате су основне информације о потреби увођења машинског учења у процес пројектовања управљачког система интелигентних мобилних робота. Наглашен је значај имплементације *Computational Intelligence* техника вештачке интелигенције у домену управљања роботског система са аспекта предикције нежељеног рада и отказа подсистема интелигентних индустријских робота. На крају поглавља наведени су главни научно-истраживачки доприноси предметне докторске дисертације. Општи научни циљ дисертације је развој пилотског експерименталног система предикције и елиминације неправилног (нежељеног) рада робота у *online* режиму, базиран на концепту машинског учења, а који је заснован на примени вештачких неуронских мрежа у домену предвиђања стања робота коришћењем сензорских информација, са циљем да се кроз лабораторијску експерименталну верификацију на развијеном физичком моделу мобилног робота, одреди оцена успешности интелигентног понашања у домену изабраног комплексног задатка и минимизирани грешке учења.

Друго поглавље докторске дисертације детаљно описује специфичне научне циљеве и главни приступ истраживању у домену предикције отказа актуатора/енкодера роботског система. У складу са изразито динамичким карактером интелигентних технолошких система, неопходно је да индустријски робот има способност разумевања и препознавања стања окружења, као и могућност да на основу тако одређеног стања самостално донесе одлуку о будућим акцијама. За реализацију неометане интеракције робота и технолошког окружења, роботски систем мора да поседује подсистем за предикцију нежељеног понашања како би се елиминисале грешке и поремећаји, односно обезбедио наставак функционисања у номиналном режиму рада. У поглављу су детаљно приказане полазне математичко-алгоритамске процедуре које се користе као основа при развоју оригиналних алгорита предикције на бази машинског учења и система вештачких неуронских мрежа.

У трећем поглављу анализирани су досадашњи приступи и публиковани резултати у области истраживања предметне докторске дисертације. Приказане су предности и недостаци развијених метода у домену предикције нежељеног рада интелигентних робота различитих конфигурација, и указано је на значај примене вештачких неуронских мрежа у овој области. Дат је детаљан опис имплементираних *Computational Intelligence* техника машинског учења које су коришћене за моделовање комплексног проблема предикције отказа роботских система.

Четврто поглавље обухвата развој оригиналних алгорита предикције нежељеног рада интелигентних робота на бази система вештачких неуронских мрежа. Остварена истраживања обухватају истраживачке правце који се односе на имплементацију *Computational Intelligence* техника вештачке интелигенције у циљу детекције и предвиђања неправилног рада роботских

система у оквиру *MATLAB*[®] и *BPnet* софтверских пакета. Детаљно је описана методологија развоја нове математичко-алгоритамске процедуре, аквизиције и обраде експерименталних података, као и примена оригиналног алгоритма сопственог развоја у претходно наведеним програмским пакетима. Дат је приказ коришћених типова вештачких неуронских мрежа са простирањем сигнала унапред и *Elman* рекурентних вештачких неуронских мрежа. Описано је укупно седам имплементираних алгоритама машинског учења, као и 24 јединствене архитектуре вештачких неуронских мрежа приликом решавања полазног проблема предикције.

Пето поглавље докторске дисертације садржи основне информације о индустријским мобилним роботима у унутрашњем транспорту материјала у оквиру изабраног технолошког система. Најпре је указано на недостатке конвенционалних видова транспорта, као и на предности имплементације мобилних робота са аспекта флексибилности и прилагођавања реалним, стохастичким условима рада. Анализом научне и стручне литературе, као и постојећих решења унутрашњег транспорта материјала у свету, закључено је да изразито динамички карактер производног погона условљава имплементацију система унутрашњег транспорта на бази мобилних робота који имају могућност разумевања процеса и стања у окружењу, као и доношења одговарајућих самосталних одлука. Дефинисањем стања и модела промене стања мобилног робота, омогућен је основни услов за решавање проблема локализације (одређивања позиције и оријентације) робота у технолошком окружењу. У поглављу је описано технолошко окружење чији је диспозициони план искоришћен за формирање лабораторијског модела. Дате су и информације о основној конфигурацији мобилног робота *Kheperall*, који је коришћен у експериментима описаним у предметној докторској дисертацији. На крају поглавља детаљно је представљен развијени нови подсистем предикције интелигентног мобилног робота *Kheperall* у оквиру решавања типичних проблема детекције објеката и праћења жељене трајекторије у дефинисаном радном простору лабораторијског модела технолошког окружења.

Шесто поглавље докторске дисертације детаљно приказује експерименталну верификацију оригиналног алгоритма предикције нежељеног понашања интелигентног робота. Да би се омогућило неометано функционисање робота у радном окружењу, неопходно је развити такве подсистеме индустријског робота који би вршили прикупљање информација о стању технолошког окружења и стању робота, процесирање ових информација, доношење одлука и на крају деловање у складу са изведеним закључцима. У складу са наведеним, извршена је анализа и поређење постојећих алгоритама обучавања у циљу одређивања оптималне архитектуре вештачке неуронске мреже са аспекта предвиђања неправилног рада робота у *online* режиму. Тестирано је укупно 24 архитектура и седам алгоритама машинског учења вештачких неуронских мрежа на скупу података отказа актуатора реалних индустријских робота вертикалне зглобне конфигурације. Експериментални резултати су потврдили оправданост увођења система вештачких неуронских мрежа при развоју нових система предикције нежељеног понашања интелигентних робота. Остварена тачност од 95.4545% доказује супериорност оригиналне методе предикције у односу на постојеће приступе базиране на *Naïve Bayes*, *Decision Trees* и *Support Vector Machines* техникама вештачке интелигенције.

У закључку (седмо поглавље) су наглашене предности примене вештачких неуронских мрежа у поступку концепцијског пројектовања система предикције нежељеног рада и отказа индустријских робота. Такође, указано је и на могуће правце будућих истраживања у домену интелигентног управљања роботских система различитих конфигурација и структура на бази реалних поремећаја у окружењу.

На крају је наведена обимна литература која је коришћена током спроведених истраживања и рада на реализацији докторске дисертације. Прилог дисертације представља запис обучавања различитих архитектура вештачких неуронских мрежа применом седам комплексних алгоритама машинског учења у софтверском пакету *MATLAB*[®].

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Ali Karkara A. Diryag, M.Sc., дипл.инж.маш., под називом „MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (Машинско учење интелигентног роботског система)” представља савремен и оригиналан приступ, као и евидентан научни допринос разматраном проблему пројектовања система предикције нежељеног понашања интелигентних робота различитих конфигурација. У докторској дисертацији анализира се могућност примене оригиналне методе предикције отказа рада индустријских робота на бази машинског учења и вештачке интелигенције, што представља изразито комплексан научно-инжењерски истраживачки циљ. У другој деценији 21. века, мобилни роботи као и роботи вертикалне зглобне конфигурације требало би да буду у стању да самостално доносе одлуке о будућим акцијама, као и да повећавају степен успешности остваривања изабраног технолошког задатка путем комуникације са интелигентним агентима у окружењу. Сprovedена истраживања у оквиру предметне докторске дисертације подразумевала су развој *оригиналних алгоритама предикције* нежељеног рада и отказа робота на бази напредних концепата машинског учења и *computational intelligence* техника вештачке интелигенције. Предметна докторска дисертација обухватала је развој и експерименталну верификацију оригиналне методе предикције на бази система вештачких неуронских мрежа. Тестирано је укупно седам комплексних алгоритама учења и 24 различите архитектуре вештачких неуронских мрежа у домену предикције отказа рада робота вертикалне зглобне конфигурације (поглавље 7). Развијени алгоритми експериментално су верификовани на мобилном роботу *Kheperall* у оквиру решавања типичних проблема детекције објеката и праћења жељене трајекторије у дефинисаном радном простору лабораторијског модела технолошког окружења (поглавље 4, поглавље 5 и поглавље 6). Резултати остварени у оквиру свих спроведених истраживања потврђују евидентну актуелност и значај докторске дисертације за научно-стручну јавност, како у Србији тако и у свету.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У предметној докторској дисертацији коришћена је обимна литература из области роботике, машинског учења, вештачких неуронских мрежа, као и напредних метода интелигентног управљања. У литератури преовлађују истраживачки резултати новијег датума, објављени у референтним монографијама, научно-стручним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја, што указује на савременост докторске дисертације. На тај начин, дат је релевантан приказ постојећег стања у домену коме припадају проблеми разматрани у докторској дисертацији. Наведене референце представљале су извор информација, знања и полазних основа за генерисање прегледа стања у предметним областима истраживања, као и критичку анализу постојећих метода у домену предикције нежељеног понашања интелигентних индустријских робота. Коришћене референце представљају избор савремене и актуелне литературе на енглеском језику, а уједно указују и на могућности даљег проширења научног сазнања у областима истраживања приказаних у докторској дисертацији, и то кроз наглашено критички приступ.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У докторској дисертацији су примењене савремене научно-истраживачке методе при теоријском и експерименталном истраживању у домену предикције неправилног рада и нежељеног понашања роботских система различитих конфигурација. Развијени метод предикције базиран је на познатом алгоритму машинског учења вештачких неуронских мрежа - алгоритму Бајесове регуларизације. У циљу одређивања оптималног решења постављеног проблема предикције, имплементирано је још шест следећих комплексних алгоритама учења: (i) *Levenberg–Marquardt*, (ii) *Resilience backpropagation*, (iii) *Scaled Conjugate Gradient*, (iv) *Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno quasi–Newton backpropagation*, (v) *Variable Learning Rate backpropagation*, као и (vi) *Gradient Descent backpropagation*. Тестирањем 24 различитих архитектура вештачких неуронских мрежа у домену проблема предикције отказа робота

вертикалне зглобне конфигурације потврђено је да алгоритам Бајесове регуларизације представља оптимално решење. Оригинални приступ у предикцији нежељеног понашања роботског система експериментално је верификован у оквиру решавања типичних проблема детекције објеката и праћења жељене трајекторије у оквиру лабораторијског модела технолошког окружења. Адекватност примењених алгоритама и развијених метода предикције оправдана је високом тачношћу добијених резултата и њиховим поређењем са резултатима наведеним у референтној литератури.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације, поред евидентне научне вредности, имају и широку практичну примену, пре свега у домену предикције неправилног рада и отказа индустријских роботских система. Познато је да услед недостатака (постајање различитих врста поремећаја-шумова) у сензорским подсистемима и/или непостојања способности одлучивања о будућим акцијама система, централна управљачка јединица робота је неодложно заустављала аутоматски вођена робоколица код којих је уочен проблем у функционисању. Производни радници - оператери су били задужени за отклањање ових проблема, па је брзина повратка система у радни режим директно зависила од њихове благовремене реакције. Оригинална метода врши предикцију неправилног рада интелигентних робота у *online* режиму, те стога није неопходно заустављати поједине технолошке линије или целокупан технолошки процес, што доводи до значајних техно-економских уштеда код савремених, производно оријентисаних компанија. Истовремено, развијени систем предикције има способност елиминације нежељеног понашања интелигентних мобилних робота чиме је омогућено решавање типичних проблема детекције објеката и праћења жељене трајекторије што је од изузетног значаја за неометано функционисање роботизованог унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова у оквиру интелигентних технолошких система.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде ове докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава проблеме и да успешно влада савременим научним сазнањима и методама, што представља основу за даљи веома успешан научно-истраживачки рад. То се посебно огледа кроз оригиналност у научном приступу комплексним проблемима предикције нежељеног рада и отказа индустријских роботских система и интелигентном управљању мобилног робота, а што је верификовано оствареним и публикованим научним радовима у референтном часопису међународног значаја и зборницима међународних конференција.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси, настали као резултат истраживања у оквиру предметне докторске дисертације, огледају се кроз развој и експерименталну верификацију предикције нежељеног понашања интелигентних робота, и то са следећим остварењима:

- Нова метода предикције нежељеног понашања интелигентних робота базирана на систему вештачких неуронских мрежа;
- Упоредна анализа перформанси различитих алгоритама машинског учења вештачких неуронских мрежа (укупно седам алгоритама) и јединствених архитектура у циљу одређивања оптималне неуронске мреже сходно разматраном проблему предикције нежељеног рада и отказа интелигентног роботског система;
- Нова метода локализације мобилног робота у оквиру лабораторијског модела технолошког окружења заснована на предикцији неправилног рада у *online* режиму;

- Експериментална верификација развијеног система предикције у домену проблема детекције објеката непознатих димензија који се налазе у оквиру технолошког окружења;
- Експериментална верификација развијеног система предикције у домену проблема праћења различитих трајекторија (жељеног облика) мобилног робота *Kheperall* у дефинисаном радном простору лабораторијског модела технолошког окружења.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру истраживања спроведених у овој докторској дисертацији предложене су и развијене нове методе за решавање полазних проблема. Развијена је метода предикције неправилног рада и отказа индустријских роботских система у технолошком окружењу базиран на систему вештачких неуронских мрежа и информацијама добијеним од спољашњих/унутрашњих сензора. Извршена је анализа и поређење постојећих алгоритама обучавања у циљу одређивања оптималне вештачке неуронске мреже са аспекта предвиђања неправилног рада робота у *online* режиму. Резултати су потврдили да се вештачка неуронска мрежа, обучена алгоритмом *Бајесове регуларизације*, показала оптималном са становишта предикције нежељеног понашања интелигентних робота. Остварена тачност од 95.4545% показује оправданост увођења *Computational Intelligence* техника вештачке интелигенције у процес пројектовања новоразвијеног система предикције. Оригинална метода предикције имплементирана је и на мобилном роботу *Kheperall* у оквиру решавања типичних проблема детекције објеката и праћења жељене трајекторије у дефинисаном радном простору лабораторијског модела технолошког окружења. Експериментални резултати су потврдили робустност развијене методе предикције (тачност од 96% у домену детекције непознатих објеката, односно 99% у домену праћења комплексне трајекторије), што указује да је могуће делимично/потпуно елиминисати постојеће грешке и поремећаје у раду интелигентних роботских система, односно да је могуће остварити наставак функционисања у номиналном режиму рада.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације су верификовани радовима објављеним у референтном међународном научном часопису и на престижним међународним конференцијама:

M23 Научни рад у међународном часопису (SCI-Web of Science®)

- [1] Diryag,A., Mitić,M., Miljković,Z., **Neural Networks for Prediction of Robot Failures**, *Proc ImechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* (ISSN 0954-4062), Vol. 228 Issue: 8, pp. 1444-1458, Sage, United Kingdom, June 2014., <http://pic.sagepub.com/content/228/8/1444> (**Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,589 (2013) → M23**; извор KoBSON)

Овај рад, објављен у међународном часопису са *SCI* листе, цитиран је у следећим научним радовима престижних међународних часописа:

- o Li,B., Rong,X., Li,Y., **An Improved Kernel Based Extreme Learning Machine for Robot Execution Failures**, *Scientific World Journal /TSWJ* (ISSN 1537-744X), Volume 2014, Article ID 906546, 7 pages, DOI:10.1155/2014/906546
(Available online: <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/906546/cta/>) Published: 2014;
(**Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,219 (2013) → M21**; извор KoBSON)
- o Jiang,Y., Qi,J., Bai,X. **An Improved Neural Network Observer designed for nonlinear system**, *Journal of applied science and engineering innovation*, Vol. 1(6), pp. 376-383, Published: 2014.

- o Miljković,Z., Vuković,N., Mitić,M., **Neural extended Kalman filter for monocular SLAM in indoor environment**, *Proc ImechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* (ISSN 0954-4062), Sage, United Kingdom, 2015. (Online_first published on May 12, 2015 as DOI: 10.1177/0954406215586589), <http://pic.sagepub.com/content/early/2015/05/12/0954406215586589.abstract> (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,589 (2013) → M23; извор KoBSON)

M33 Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини

- [2] Mitić,M., Vuković,N., Petrović,M., Petronijević,J., Diryag,A., Miljković,Z., **Bioinspired metaheuristic algorithms for global optimization**, Proceedings of the 5th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2015), pp. 38-42, Kopaonik, Serbia, 8-11 March, 2015.
- [3] Mitić,M., Vuković,N., Diryag,A., Miljković,Z., **Learning Motion Trajectories and Visual Commands of a Nonholonomic Mobile Robot Using Metaheuristic Technique**, Proceedings of the 5th International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2014), pp. 89-98, Thessaloniki, Greece, 1-3 October, 2014.
- [4] Mitić,M., Miljković,Z., Vuković,N., Babić,B., Diryag,A., **Prediction of Robot Execution Failures Using Neural Networks**, Proceedings of the 35th International Conference on Production Engineering, pp. 335-339, Kopaonik, Serbia, September 2013.
- [5] Miljković,Z., Mitić,M., Babić,B., Diryag,A., **Q-Learning Algorithm for a Mobile Robot Obstacle Avoidance in an Unknown Environment Based on Artificial Neural Networks**, Proceedings of the 4th International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2011), pp. 431-440, Thessaloniki, Greece, 3-5 October, 2011.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом „MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (Машинско учење интелигентног роботског система)“ кандидата Ali Karkara A. Diryag, M.Sc., представља актуелан и утемељен научно-истраживачки рад високог ранга, са оствареним евидентним оригиналним научним доприносима, који уз анализу разматраних проблема и кроз свеобухватно сагледавање тематике пројектовања подсистема предикције нежељеног рада и отказа интелигентних роботских система, као и применом техника машинског учења и коришћењем информација добијених од спољашњих/унутрашњих сензора, омогућавају успешну напредну примену индустријских робота у интелигентном технолошком окружењу.

На основу остварених резултата који су приказани у докторској дисертацији, сходно чињеници да је анализирана проблематика мултидисциплинарна и веома актуелна у светској научној јавности, констатује се да је кандидат Ali Karkara A. Diryag, M.Sc., завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним програмом усавршавања и постављеним циљевима докторске дисертације, уз нагласак на то да су успешно доказане хипотезе да је: (i) применом метода и алгоритама машинског учења могуће развити подсистем предикције нежељеног рада, као и подсистем за корекцију понашања робота у циљу наставка неометаног функционисања интелигентног роботског система у *online* режиму, (ii) применом *Computational Intelligence* техника вештачке интелигенције могуће подићи степен успешности предвиђања грешака и неправилности у раду интелигентног роботског система на виши ниво, и (iii) развојем новог интелигентног управљачког система мобилног робота на бази сензорских информација и предикције стања, коришћењем вештачких неуронских мрежа, могуће обезбедити успешну детекцију карактеристичних објеката и неометано праћење жељене трајекторије у оквиру дефинисаног радног простора лабораторијског модела технолошког окружења.

На основу прегледа и оцене докторске дисертације кандидата

Ali Karkara A. Diryag, M.Sc.

са темом

**MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM
(Машинско учење интелигентног роботског система),**

Комисија за оцену и одбрану закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима и позитивној пракси у научно-истраживачком раду, као и то да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и да је у складу са Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета у Београду.

Сходно члану 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета у Београду Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути Реферат на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

С поштовањем,

Чланови Комисије:

У Београду, 18.06.2015. године

Др Зоран Миљковић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Бојан Бабић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Драган Александрић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Марко Митић, научни сарадник
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Мирко Ђапић, ванредни професор
Универзитет у Крагујевцу,
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:942/5
Датум: 25.06.2015. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 63. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду број 1876/1 од 04.10.2013. године и члана 37. Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће на седници одржаној 25.06.2015. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцини урађене докторске дисертације коју је поднео **ALI KARKARA A. DIRYAG**, M.Sc. и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „**MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (МАШИНСКО УЧЕЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ РОБОТСКОГ СИСТЕМА)**“

II Универзитет је дана 20.01.2014. године, својим актом број 61206-32/2-14 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

- [1] Diryag,A., Mitić,M., Miljković,Z., **Neural Networks for Prediction of Robot Failures**, *Proc ImechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* (ISSN 0954-4062), Vol. 228 Issue: 8, pp. 1444-1458, Sage, United Kingdom, June 2014., <http://pic.sagepub.com/content/228/8/1444> (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,589 (2013) → M23; извор KoBSON)

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за производно машинство и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић