

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2167/5
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)26.12.2013.
(Датум)

З А Х Т Е В
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

MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (МАШИНСКО УЧЕЊЕ
ИНТЕЛИГЕНТНОГ РОБОТСКОГ СИСТЕМА)

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Производно машинство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ALI KARKARA A. DIRYAG2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, China3. Година дипломирања: 2004.4. 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 БеоградОдсек, смер или група: /Година уписа докторских студија: 2009.Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 26.12.2013
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: 2167/4
Датум: 26.12.2013.
Београд, Краљице Марије 16

На захтев Ali Karkara A. Diryag, M.Sc., бр. 2167/1 од 04.11.2013. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Зоран Миљковић, проф.др Бојан Бабић, проф.др Угљеша Бугарић, проф.др Драган Александрић и проф.др Мирко Ђапић, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитета у Крагујевцу, број 2167/3 од 16.12.2013. 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 26.12.2013. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«MACHINE LEARNING IN INTELLIGENT ROBOTIC SYSTEM (МАШИНСКО УЧЕЊЕ ИНТЕЛИГЕНТНОГ РОБОТСКОГ СИСТЕМА)»** докторанта **ALI KARKARA A. DIRYAG. M.Sc.**

За ментора докторанту Ali Karkara A. Diryag, M.Sc. именује се **проф.др Зоран Миљковић.**

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Предмет: Подобност теме и кандидата **Ali Karkara A. Diryag** за израду докторске дисертације

На основу поднете пријаве за израду докторске дисертације **Ali Karkara A. Diryag**, M.Sc., број 2167/1 од 04.11.2013. године, дате сагласности Координатора студија на страном језику и Комисије за докторске студије, а према Одлуци Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 2167/2 од 28.11.2013. године именовани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације докторанда Ali Karkara A. Diryag, M.Sc. Увидом у документацију коју је докторанд Ali Karkara A. Diryag, M.Sc. приложио уз свој захтев за израду докторске дисертације, после разматрања Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ
о прихватању теме докторске дисертације
под насловом

Machine learning in intelligent robotic system
(Машинско учење интелигентног роботског система)

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Лични подаци

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

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Списак положених испита на докторским студијама

	Subject	Professor	Final mark
1.	Selected topics in fluid mechanics	Проф. др Зоран Стефановић	9 (nine)
2.	Planning, performing and controlling projects	Проф. др Бојан Бабић, Проф. др Зоран Миљковић	9 (nine)
3.	Structural integrity	Проф. др Александар Седмак	9 (nine)
4.	Structure testing methods	Проф. др Милосав Огњановић	9 (nine)
5.	Research and development methodology	Проф. др Златко Петровић	8 (eight)
6.	Control and testing	Проф. др Драган Лазић, Доц. др Милан Ристановић	8 (eight)
7.	Selected topics in thermodynamics	Проф. др Милан Петровић	9 (nine)
8.	Artificial intelligence and machine learning	Проф. др Зоран Миљковић	10 (ten)
9.	Advanced numerical methods	Проф. др Златко Петровић	9 (nine)
10.	Analytic methods for engineering design	Проф. др Бојан Бабић	9 (nine)
11.	Welded structures	Проф. др Александар Седмак	8 (eight)
12.	Learning management systems	Проф. др Зоран Стефановић	10 (ten)
13.	Discrete event simulation	Проф. др Бојан Бабић	10 (ten)
14.	Advanced manufacturing systems	Проф. др Зоран Миљковић	10 (ten)

СПИСАК РАДОВА У ВЕЗИ СА ТЕМОМ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. 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.
2. 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, The Book of Abstracts, pp. 33, Article in press, Kopaonik, Serbia, 25-28 September, 2013.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат **Ali Karkara A. Diryag** завршио је академске MSc студије у Кини, остваривши мастер диплому (призната је као високошколска исправа, према решењу Универзитета у Београду под бројем 06-613-3003/3-10 од 08.10.2010. г. чиме је, како се наводи, **стекао право на наставак образовања на Машинском факултету Универзитета у Београду, и то на докторским студијама – област Машинско инжењерство**). Током докторских студија, успешно је положио испите **14** наставних предмета (70 ЕСПБ бодова) са просечном оценом 9.07 (девет и 07/100), а обавио је и све предвиђене активности у оквиру Research & publication I ÷ III (проф. др Зоран Миљковић и проф. др Бојан Бабић, 45 ЕСПБ), Research & publication IV (проф. др Зоран Миљковић, 8 ЕСПБ), као и The project of Ph.D. thesis proposal (проф. др Зоран Миљковић, проф. др Бојан Бабић и проф. др Угљеша Бугарић, 22 ЕСПБ). Дакле, студент докторских студија Ali Karkara A. Diryag стекао је укупно 145 ЕСПБ бодова, израчунато преко:

$$14 \times 5 + 45 + 8 + 22 = 145 \text{ ЕСПБ,}$$

односно 25 ЕСПБ бодова више од захтеваног минимума за период од прва четири семестра.

У претходном периоду усавршавања објавио је 2 научна рада у зборницима међународних конференција од значаја за верификацију досадашњих теоријских и лабораторијских активности, а у припреми је још неколико радова за међународне конференције, као и часописе са импакт фактором који су на SCI листи. Кандидат је успешно одбранио и приступни Пројекат идеје докторске дисертације.

Кроз положене испите, експериментални рад и допунске курсеве (у оквиру Research & publication I ÷ IV) за напредне софтверске алате (софтвери *MATLAB*[®] и *BPnet*) које кандидат примењује у истраживању, као и кроз учешће у објављеним радовима у зборницима међународних конференција, кандидат је у потпуности уведен у проблематику докторске дисертације. Тиме су се стекли формални и стварни услови за наставак рада на докторској дисертацији са предложеном темом.

Сагласно Програму за докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, његове стручне спреме, као и досадашњих активности и резултата, Комисија сматра да је Ali Karkara A. Diryag, MSc, студент докторских студија, способан и подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет планираних истраживања односи се на развој и примену алгоритама и техника предикције неправилног рада роботског система у циљу повећања ефикасности у производном погону, како би научно засноване методе, базиране на машинском учењу, биле тестиране и експериментално верификоване кроз ову напредну имплементацију.

У ужем смислу, планирана истраживања су фокусирана на развој алгоритама предвиђања нежељеног понашања роботских система на бази *soft computing* техника вештачке интелигенције у циљу елиминасања различитих проблема стохастичке природе у *online* режиму рада, са акцентом на решавање комплексног проблема праћења трајекторије приликом решавања задатка навигације и одређивања положаја (позиције и оријентације) робота у оквиру технолошких система за производњу делова од лима.

Развој нове генерације индустријских робота значајно је допринео повећању ефикасности технолошких система и смањењу оптерећења производних радника. Познато је да се увођење и примена индустријских робота реализује за оне технолошке задатке у којима је

присуство производних радника опасно, као и код оних у којима стално понављање исте радње доводи до пада концентрације радника који резултира појавом грешке, а тиме и могућег заустављања процеса. Досадашње искуство примене индустријских робота за различите технолошке задатке указује на оправданост оваквог приступа, с обзиром на то да се увођењем и инсталирањем робота води рачуна о хуманизацији рада производних радника и повећању ефикасности технолошког система.

Ефикасније искоришћење производних капацитета подразумева развој нових генерација производа и претпоставља сталну еволуцију индустријске производње, посебно у домену роботизације и програмабилне аутоматизације. Почетком 21. века, приметна је тенденција померања основне парадигме у области роботике као научно-техничке дисциплине, ка интеграцији конвенционалних роботских структура са сада, покретном базом-платформом, посебно преко развоја мобилних роботских система, у циљу обављања све сложенијих радних задатака дефинисаних технолошким процесима. Данашњи мобилни роботизирани манипулатори имају могућност интеракције са радним окружењем, уз изражену примену одговарајућих сензора за аквизицију података/сензорске информације. Истовремено данас, са интензивним технолошким развојем, појављују се роботски системи који користе различите технике вештачке интелигенције у поступку процесирања и анализе сензорских информација, као и давања одговора на интеракцију унутар технолошког окружења.

Интензиван технолошки развој у области пројектовања и производње мобилних робота (робоколица) резултирао је унапређењем основног концепта у смислу обезбеђивања специфичних способности које иницијално нису биле планиране. Једно од првих побољшања полазног концепта представља имплементација софистицираних сензора на већ постојеће покретне платформе у циљу обезбеђивања повратне информације о стању околине. Међутим, увођење сензорске информације претпоставља постојање посебног блока у оквиру централног управљачког система чија је основна улога читавање и тумачење повратне информације добијене од сензорског подсистема. Услед недостатака (постајање различитих врста поремећаја-шумова) у сензорским подсистемима и/или непостојања способности одлучивања о будућим акцијама система, централна управљачка јединица је неодложно заустављала аутоматски вођена робоколица (енгл. *Automated guided vehicles*) 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.

На основу претходно наведених чињеница, од кључног је значаја како обезбедити неометан рад роботских система у производном погону. Промене у технолошком окружењу, поремећаји и грешке које се јављају у подсистемима робота, чине интелигентно управљање неопходним за превазилажење поменутих проблема. Један од примера ових неодређености је постојање мале грешке у позиционирању робота у односу на објекат, која се акумулира током времена. Јасно је да се, у случају прекорачења дозвољене границе грешке позиционирања, систем индустријског робота мора подвргнути репрограмирању или инжењерски другачијем организовању. Оба ова приступа подразумевају заустављање рада индустријског робота, самим тим и технолошког процеса, а понекад и редизајн читаве технолошке ћелије или линије. У циљу избегавања ових проблема и смањења евидентних трошкова, потребно је применити напредне технике вештачке интелигенције при управљању и оцењивању понашања роботских система различитих структура.

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. Од кључног је значаја да

сензорске информације буду успешно процесирани, као и да се могуће нежељено понашање робота препозна и елиминисати помоћу „резервног“ скупа управљачких команди. С обзиром на комплексност овог проблема, савремени роботски системи користе напредне методе машинског учења у циљу препознавања отказа актуатора робота-манипулатора, односно немогућности добијања повратне информације од нпр. енкодера мобилног робота.

Планирана истраживања, у оквиру предложене докторске дисертације, по садржају обухватају неколико актуелних истраживачких тема које се односе на: имплементацију *soft computing* техника вештачке интелигенције у циљу детекције и предвиђања неправилног рада роботских система, интелигентно управљање, навигацију и праћење жељене трајекторије мобилног робота на бази система вештачких неуронских мрежа, као и развој и поређење различитих метода обучавања вештачких неуронских мрежа у циљу брже конвергенције развијених алгоритама предикције ка оптималном решењу.

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, што подразумева следеће целине:

- Развој алгорита за предикцију и елиминацију нежељеног понашања робота у технолошком окружењу базиран на систему вештачких неуронских мрежа и информацијама добијеним од спољашњих/унутрашњих сензора;
- Анализа и поређење постојећих алгоритама обучавања у циљу одређивања оптималне архитектуре вештачке неуронске мреже са аспекта предвиђања неправилног рада робота у *online* режиму;
- Развој и експериментална верификација новог подсистема предикције интелигентног мобилног робота у оквиру решавања типичних проблема детекције објеката и праћења жељене трајекторије у дефинисаном радном простору лабораторијског модела технолошког окружења.

Крајем 20. века и на почетку 21. века публиковано је више научних радова, књига, као и докторских дисертација које са различитих становишта третирају проблеме предикције нежељеног понашања индустријских робота у структурираним и неструктурираним технолошким окружењима, проблеме детекције објеката непознатих димензија, праћења жељене трајекторије мобилног робота и интелигентног управљања робота на бази система вештачких неуронских мрежа. Овде се наводе само неки од научних радова, књига и докторских дисертација који обухватају ову проблематику, а који су утицали на покретање истраживања предвиђених у овој докторској дисертацији:

1. Halder B and Sarkar N.: Robust fault detection of a robotic manipulator. *Int J Robot Res* 2007; 26(3): 273-285.
2. Twala B.: Robot execution failure prediction using incomplete data. In: *Proceedings of the IEEE international conference on robotics and biomimetics*, Guilin, China, 2009, pp.1518–1523.

3. Ming Y, Danwei W and Qijun C.: Prediction of multiple failures for a mobile robot steering system. In: *Proceedings of the IEEE international symposium on industrial electronics*, Hangzhou, China, 2012, pp.1240–1245.
4. Bevilacqua M, Braglia M, Frosolini M, et al.: Failure rate prediction with artificial neural networks. *J Qual Maint Eng* 2005; 11(3): 279 – 294.
5. Parhi DR and Singh MK.: Real-time navigational control of mobile robots using an artificial neural network. *Proc IMechE, Part C: J Mechanical Engineering Science* 2009; 223(7): 1713–1725.
6. Liao SH and Wen CH.: Artificial neural networks classification and clustering of methodologies and applications – literature analysis form 1995 to 2005. *Expert Syst Appl* 2007; 32(1): 1–11
7. Lolasa S and Olatunbosun OA.: Prediction of vehicle reliability performance using artificial neural networks. *Expert Syst Appl* 2008; 34(4): 2360–236.
8. Dixon W, Walker I, Dawson D, et al.: Fault detection for robot manipulators with parametric uncertainty: A prediction-error-based approach. *IEEE Trans Robot Autom* 2000; 16(6): 689–699.
9. Visinsky M, Cavallaro J and Walker I.: Robotic fault detection and fault tolerance: A survey. *Reliab Eng Syst Safety* 1994; 46(2): 139–158.
10. Sreevijayan D, Tosunoglu S and Tesar D.: Architectures for fault tolerant mechanical systems. In: *Proceedings of the IEEE mediterranean electrotechnical conference*, Antalya, Turkey, 1994, pp.1029–1033.
11. Shin JH and Lee JJ.: Fault detection and robust fault recovery control for robot manipulators with actuator failures. In: *Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation*, Detroit, USA, 1999, pp.861–866.
12. Brambilla D, Capisani LM, Ferrara A, et al.: Fault detection for robot manipulators via second-order sliding modes. *IEEE Trans Ind Electron* 2008; 55(11): 3954–3963.
13. Muradore R and Fiorini P.: A PLS-based statistical approach for fault detection and isolation of robotic manipulators. *IEEE Trans Ind Electron* 2012; 59(8): 3167–3175.
14. Dixon W, Walker I and Dawson D.: Fault detection for wheeled mobile robots with parametric uncertainty. In: *Proceedings of the IEEE/ASME international conference on advanced intelligent mechatronics*, Como, Italy, 2001, pp. 1245–1250.
15. Roumeliotis SI, Sukhatme GS and Bekey GA.: Sensor fault detection and identification in a mobile robot. In: *Proceedings of the IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, Victoria, Canada, 1998, pp.1383–1388.
16. Hashimoto M, Kawashima H, Nakagami T, et al.: Sensor fault detection and identification in dead-reckoning system of mobile robot: interacting multiple model approach. In:

Proceedings of the IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, Maui, USA, 2001, pp.1321–1326.

17. Koohi T, Mirzaie E and Tadaion G.: Failure Prediction Using Robot Execution Data. In: *Proceedings of the 5th Symposium on advances in science & technology*, Mashhad, Iran, 2011.
18. Miljković Z and Aleksendrić D.: *Artificial neural networks – Solved examples with short theoretical background (in Serbian)*. Belgrade: University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, 2009.
19. Miljković Z, Mitić M, Lazarević M, Babić, B.: Neural network reinforcement learning for visual control of robot manipulators. *Expert Syst Appl* 2013; 40(5): 1721–1736.
20. Miljković Z.: *Systems of artificial neural networks in production technologies (in Serbian)*. Belgrade: University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, 2003.
21. Vuković N and Miljković Z.: A growing and pruning sequential learning algorithm of hyper basis function neural network for function approximation. *Neural Networks* 2013; 46C: 210–226.
22. Kumar N, Panwar V, Sukavanam N, et al.: Neural network based hybrid force/position control for robot manipulators. *Int J Precis Eng Manuf* 2011; 12(3): 419–426.
23. Althoefer K, Lara B, Zweiri YH, et al.: Automated failure classification for assembly with self-tapping threaded fastenings using artificial neural networks. *Proc IMechE, Part C: J Mechanical Engineering Science* 2008; 222(6): 1081–1095.
24. Van M, Kang HJ and Ro YS.: A robust fault detection and isolation scheme for robot manipulators based on neural networks. *Lecture notes in computer science* (Springer-Verlag, Berlin) 2011; 6838: 25–32.
25. Rumelhart DE, Hinton GE and Williams RJ.: Learning internal representations by error propagation in parallel distributed processing. In: *Parallel distributed processing* (ed. Rumelhart DE, McClelland JL), Cambridge, UK, 1986, pp. 318–362.
26. Kube CR.: A minimal infrared obstacle detection scheme. *The Robotics Practitioner: The Journal for Robot Builders* 1996; 2(2):15–20.
27. Siegwart R, Nourbakhsh I and Scaramuzza D.: *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. MIT Press, 2nd edition, 2011.

3. Полазне хипотезе

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 нежељног понашања како би била омогућена елиминација постојећих грешака и поремећаја, односно наставак функционисања у номиналном режиму рада. С обзиром на закључке претходно спроведених истраживања у овој научној области, представљене у наведеној литератури, а у циљу теоријске и експерименталне верификације предложеног решења предикције неправилног рада роботског система, одабране су следеће полазне хипотезе по којима се спроводи предвиђено истраживање и рад на овој докторској дисертацији:

- Применом метода и алгоритама машинског учења могуће је развити подсистем предикције нежељеног рада, као и подсистем за корекцију понашања робота у циљу наставак неометаног функционисања интелигентног роботског система у *online* режиму;
- Применом *soft computing* техника вештачке интелигенције могуће је подићи на виши ниво степен успешности предвиђања грешака и неправилности у раду интелигентног роботског система;
- Развојем новог интелигентног управљачког система мобилног робота на бази сензорских информација и предикције стања, коришћењем вештачких неуронских мрежа, могуће је обезбедити успешну детекцију карактеристичних објеката и неометано праћење жељене трајекторије у оквиру дефинисаног радног простора лабораторијског модела технолошког окружења.

4. Научне методе истраживања

Обезбеђивањем предуслова за израду ове докторске дисертације извршена је припрема ресурса, тако да се могу применити следеће научне методе истраживања:

- Методе класификације изабраних технолошких задатака интелигентног роботског система;
- Методе предикције грешака и неправилности у раду интелигентног мобилног робота на бази *soft computing* техника вештачке интелигенције;
- Методе поређења различитих алгоритама обучавања вештачких неуронских мрежа;
- Методе управљања и програмирања мобилног робота у домену локализације (одређивање позиције и оријентације) у лабораторијском моделу технолошког окружења;
- Методе софтверске и хардверске имплементације развијених алгоритама у циљу повећања ефикасности у раду интелигентног роботског система.

Оригинални софтвер *BPnet*, развијен у *Лабораторији за индустријску роботiku и вештачку интелигенцију* Катедре за производно машинство Машинског факултета у Београду, користиће се за обучавање *backpropagation* вештачке неуронске мреже, док ће *MATLAB*[®] програмско окружење бити коришћено за поређење различитих алгоритама обучавања неуронских мрежа, као и за *online* управљање интелигентног мобилног робота.

5. Очекивани научни допринос

Према постављеним хипотезама, очекивани научни доприноси који ће бити остварени у овој докторској дисертацији су:

- Метода предикције нежељеног понашања интелигентног роботског система базирана на систему вештачких неуронских мрежа;
- Метода поређења и анализе различитих алгоритама обучавања вештачких неуронских мрежа у циљу одређивања оптималне архитектуре мреже сходно разматраном проблему;
- Метода локализације мобилног робота у оквиру лабораторијског модела технолошког окружења;
- Експериментална метода за верификацију развијеног подсистема предикције у домену проблема детекције објеката непознатих димензија који се налазе у оквиру технолошког окружења;
- Експериментална метода за верификацију развијеног подсистема предикције у домену проблема праћења различитих трајекторија (жељеног облика) мобилног робота у дефинисаном радном простору технолошког окружења.

6. План истраживања и структура рада

Планирана истраживања обухватају неколико целина. Прва целина подразумева истраживање стања, кроз суштинско проучавање научне области у домену развоја машинског учења интелигентних роботских система и метода предикције њиховог нежељеног понашања у технолошком окружењу. Паралелно са проучавањем ове научне области, активности на реализацији предметне докторске дисертације су усмерене на проучавање *soft computing* техника у циљу решавања типичних проблема у домену мобилне роботике (праћење жељене трајекторије и детекције објеката у окружењу), као и експерименталну верификацију постављених хипотеза у лабораторијском моделу технолошког окружења.

Предлаже се следећа структура рада (дата на енглеском језику, с обзиром на то да ће предметна докторска дисертација бити писана на енглеском):

1. Introduction and motivation
 - a. Overview of machine learning in intelligent robotic systems

- b. Significance of soft computing techniques in domain of robot control and failure prediction
 - c. Organization of dissertation
- 2. Research objectives and approach
 - a. Overall objective
 - b. Specific objective
- 3. State-of-the-art review
 - a. Problem description
 - b. Prediction of industrial robot execution failures
 - c. Advantages and disadvantages of various approaches
 - d. Applications of soft computing techniques in the prediction domain
- 4. Robotic failure prediction in *MATLAB*[®] and *BPnet* software
 - a. Introduction to neural networks
 - b. Failure data description
 - c. Prediction algorithms, activation functions and neural network architectures
 - d. Neural network training procedure in *MATLAB*[®] software
 - e. Neural network training procedure in *BPnet* software
- 5. Intelligent mobile robot in a manufacturing environment
 - a. Introduction to intelligent manufacturing systems
 - b. Control of a mobile robot using artificial intelligence techniques
 - c. Localization of a mobile robot in a laboratory model of manufacturing environment
 - d. Mobile robot obstacle detection: problem and solution
 - e. Mobile robot trajectory tracking: problem and solution
- 6. Experimental study
 - a. Experimental setup
 - b. Experimental results
- 7. Discussion and conclusions

7. Закључак и предлог

На основу изложеног приказа предложене теме и досадашњих активности кандидата, Комисија је дошла до следећих закључака.

Предложена тема представља актуелну проблематику и подручје истраживања које обећава остваривање предвиђених научних доприноса. Предвиђа се развој и примена експерименталних и нумеричких метода које доприносе унапређењу научних сазнања у области машинског учења интелигентног роботског система, односно у области предикције нежељеног понашања робота на бази *soft computing* техника вештачке интелигенције.

Кандидат, студент докторских студија **Ali Karkara A.Diryag**, испунио је све предуслове за пријаву докторске дисертације предвиђене програмом ових студија. Положио је са успехом све испите на докторским студијама Машинског факултета у Београду (који укључују и иницијално истраживање и лабораторијски рад), а објавио је и два научна рада у зборницима међународних конференција. Тиме је остварио 145 ЕСПБ, што је више од минимално

потребних 120 ЕСПБ за пријаву докторске дисертације (од укупно 180 ЕСПБ на докторским судијама).

На основу свих изнетих чињеница и образложења, Комисија предлаже да се студенту докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, **Ali Karkara A.Diryag**-у, одобри израда докторске дисертације под насловом

Machine learning in intelligent robotic system
(Машинско учење интелигентног роботског система).

За **ментора** се предлаже **др Зоран Миљковић**, редовни професор Машинског факултета у Београду.

Београд, 12.12.2013. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Зоран Миљковић,
Универзитет у Београду - Машински факултет

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

.....
Проф. др Угљеша Бугарић,
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
Проф. др Драган Александрић,
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
Проф. др Мирко Ђапић,
Факултет за машинство и
грађевинарство у Краљеву
Универзитета у Крагујевцу

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Ali Karkara A.Diryag, M.Sc.**

Име и презиме ментора: др Зоран Миљковић

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Miljković,Z., Mitić,M., Lazarević,M., Babić,B., **Neural Network Reinforcement Learning for Visual Control of Robot Manipulators**, *Journal Expert Systems with Applications* (ISSN 0957-4174), Vol. 40 Issue: 5, pp. 1721-1736, Elsevier, April 2013. (Available online: 9 October 2012; DOI: 10.1016/j.eswa. 2012.09.010); <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412010640> (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,854 (2012) → M21; извор KoBSON)
2. Miljković,Z., Vuković,N., Mitić,M., Babić,B., **New Hybrid Vision-Based Control Approach for Automated Guided Vehicles**, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Print ISSN 0268-3768), Vol. 66 Issues: 1-4, pp. 231-249, Springer-Verlag London Ltd., April 2013. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-012-4321-y> (Online ISSN 1433-3015_Available online: 6 July 2012_First™ Articles; DOI: 10.1007/s00170-012-4321-y), (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,205 (2012) → M22; извор KoBSON)
3. Vuković,N., Miljković,Z., **A Growing and Pruning Sequential Learning Algorithm of Hyper Basis Function Neural Network for Function Approximation**, *Journal Neural Networks* (ISSN 0893-6080), Vol. 46C, pp. 210-226, Elsevier, October 2013. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608013001664> (DOI: 10.1016/j.neunet.2013.06.004), (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,927 (2012) → M21; извор KoBSON)
4. Babić,B., Miljković,Z., Vuković,N., Antić,V., **Towards Implementation and Autonomous Navigation of an Intelligent Automated Guided Vehicle in Material Handling Systems**, *Iranian Journal of Science and Technology (IJST) – Transaction B: Engineering (Transactions of Mechanical Engineering)* (ISSN 1028-6284), Vol. 36, No. M1, pp. 25-40, Printed in The Islamic Republic of Iran, © Shiraz University, April 2012. http://www.shirazu.ac.ir/en/index.php?page_id=2613 (SCOPUS; Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,719 (2012) → M22; извор KoBSON)
5. Šibalija,T., Majstorović,V., Miljković,Z., **An Intelligent Approach to Robust Multi-Response Process Design**, *International Journal of Production Research* (ISSN 0020-7543 Print; ISSN 1366-588X Online), Vol.49 Issue: 17, pp. 5079-5097,

Taylor & Francis, 1 September 2011. (Available online: 17 August 2011; DOI:10.1080/00207543.2010.511476); <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2010.511476> (Science Citation Index-WoS® – IF = 1,115 (2011) → M21; извор KoBSON)

6. Babić,B., Nešić,N., Miljković,Z., **Automatic Feature Recognition Using Artificial Neural Networks to Integrate Design and Manufacturing - Review of Automatic Feature Recognition Systems**, Journal *AI Edam: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* (ISSN 0890-0604), Vol.25 Issue: 3, pp. 289-304, Cambridge University Press, August 2011. <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=8325257&fulltextType=RV&fileId=S0890060410000545> (First published online: 17 December 2010; DOI:10.1017/ S0890060410000545); (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,786 (2011) → M22; извор KoBSON)
7. Babić,B., Nešić,N., Miljković,Z., **A Review of Automated Feature Recognition with Rule-Based Pattern Recognition**, Journal *Computers in Industry* (ISSN 0166-3615), Vol.59 (4), pp. 321-337, Elsevier, April 2008. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507001327> (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 2,014 → M21; извор KoBSON)

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 _____

М.П. _____
