

Образац 2.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

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

1057/5

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

(Број захтева)

23.07.2012. 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:

НАЈДАНА (ЛАКИЋ) ВУКОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **НАЈДАН (ЛАКИЋ) ВУКОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА

Универзитет је дана 24.10.2008. год. својим актом под бр. 612-28/169-08 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **НАЈДАНА (ЛАКИЋ) ВУКОВИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 07.06.2012. године, одлуком факултета под бр. 1057/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Зоран Миљковић</u>	Редовни професор	Производно машинство	Машински факултет Београд
2. <u>Др Драган Милутиновић</u>	Редовни професор	Производно машинство	Машински факултет Београд
3. <u>Др Бојан Бабић</u>	Редовни професор	Производно машинство	Машински факултет Београд
4. <u>Др Драган Александрић</u>	Доцент	Моторна возила	Машински факултет Београд
5. <u>Др Вељко Поткоњак</u>	Редовни професор	Роботика и аутоматизација	ЕТФ Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 21.06.2012. 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: 1057/4
Датум: 21.06.2012. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 30. Закона о високом образовању (Сл.гласник 76/05, 100/07 и 44/10) и чл. 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду и извештаја Комисије у саставу: проф.др Зоран Миљковић, ментор, проф.др Драган Милутиновић, проф.др Бојан Бабић, доц.др Драган Александрић, проф.др Вељко Поткоњак, ЕТФ Београд о оцени докторске дисертације „Развој машинског учења интелигентног мобилног робота базиран на систему вештачких неуронских мрежа“ докторанта Најдана Вуковића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 21.06.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА“** докторанта **НАЈДАНА ВУКОВИЋА**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације, пошто је докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану била стављена на увид јавности у трајању од 30 дана, па како је после свих разматрања на ННВ М.Ф. на крају извештај Комисије коначно усвојен, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата
Најдана Вуковића, дипл.инж.маш.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 1057/2 од 07.06.2012.г. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Најдана Вуковића, дипл.инж.маш., под називом: „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА”, о којој подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Увод

1.1 Наслов и обим докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата Најдана Вуковића, дипл.инж.маш., под називом „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА” изложена је на 286 страна у оквиру осам поглавља, са датим списком литературе.

1.2. Хронологија одобравања израде дисертације

Кандидат је пријавио тему докторске дисертације под називом: „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА” и за ментора је предложио проф. др Зорана Миљковића. На основу пријаве кандидата ННВ МФБгд. је одлуком бр. 648/2 од 12.06.2008.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 Драган Милутиновић, ред.проф., др Бојан Бабић, ред.проф., др Драган Александрић, доцент, др Вељко Поткоњак, ред.проф. На основу извештаја Комисије и одлуке ННВ МФБгд. поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду (захтев бр. 648/4 од 10.07.2008.г.) које је на седници одржаној 24.10.2008.г. донело одлуку да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Најдана Вуковића, дипл.инж.маш. (одлука бр. 612-28/169-08 од 17.11.2008.г.), а на основу чега је 17.12.2008.г. Декан Машинског факултета у Београду донео закључак бр. 1443/1 о одобравању рада на предметној дисертацији под менторством проф. др Зорана Миљковића, уз одлуку Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду о продужењу рока за израду до 1.10.2012.г. (одлука бр. 2374/1 од 05.09.2011.г.).

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА” припада области техничких наука (машинство) и ужој научној области Производно машинство.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Најдан (Лакић) Вуковић, дипл.инж.маш., рођен је 23. новембра 1980.г. у Београду, Република Србија. Основну школу и гимназију је завршио у Београду. Машински факултет у Београду уписао је 1999.г., а дипломирао је 17. маја 2005.г. на Одсеку за ваздухопловство.

Докторске студије на Машинском факултету у Београду кандидат је уписао школске 2005/2006.г. Од 2. фебруара 2008.г. запослен је у Иновационом центру Машинског факултета у Београду, прво као стручни сарадник (2008-2010), а од 16.12.2010.г. као истраживач сарадник (одлука бр. 21-1114/5 од 16.12.2010.г.).

Током докторских студија кандидат је био ангажован у наставном процесу на Одсеку за производно машинство, и то на Основним академским студијама (*Компјутерска симулација и вештачка интелигенција*), Мастер академским студијама (*Интелигентни технолошки системи, Аксиоматске методе, Методе одлучивања*), као и на докторским студијама на енглеском језику (*Introduction to Artificial Intelligence and Machine Learning*).

Објавио је 16 радова у зборницима радова научних скупова међународног и националног значаја, као и у референтним међународним и националним часописима.

Учествовао је у пројектним тимовима у оквиру 5 научно-истраживачких, стручних и образовно-развојних пројеката из којих је остварио и 7 техничких решења.

Кандидат поседује активно знање енглеског језика.

2. Опис дисертације

2.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Најдана Вуковића, дипл.инж.маш., под називом „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА” изложена је на 286 страна и садржи 175 једначина, 67 слика и дијаграмских приказа, 31 табелу и 211 коришћених референтних литературних извора. Докторску дисертацију чине следећих осам поглавља и списак литературе:

1. Увод
2. Прелиминарна анализа и мотивација за спроведена истраживања
3. Теоријске основе
4. Машинско учење вештачке неуронске мреже са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа
5. Симултано оцењивање положаја мобилног робота и карактеристичних објеката у окружењу
6. Симултано оцењивање положаја мобилног робота и карактеристичних објеката уз примену система препознавања на бази калибрисане камере
7. Примена индустријских мобилних робота у интелигентним технолошким системима
8. Закључак
9. Литература

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу текста докторске дисертације дате су основне информације о потреби увођења интелигентних мобилних робота у технолошко окружење за обављање унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова. Наводи се и то да се неопходна флексибилност интелигентног мобилног робота, према променама у окружењу, може остварити применом концепта *on line* машинског учења на бази вештачких неуронских мрежа.

У другом поглављу се анализира могућност интеграције интелигентних мобилних робота у технолошко окружење за потребе обављања унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова. У поглављу је дата анализа производних парадигми као што су Рачунарски интегрисане технологије (енгл. Computer Integrated Manufacturing - CIM) и посебно Интелигентни технолошки системи (енгл. Intelligent Manufacturing Systems - IMS), а указано је и на нивое интеграције које треба остварити у циљу увођења мобилног робота у оквиру ових производних парадигми. Као резултат анализе наведене су основне особине које интелигентни мобилни робот мора да поседује да би аутономно и ефикасно обављао планирани транспортни задатак. У поглављу је дата критичка анализа и преглед стања у области примене аутоматски вођених роботоколица, што представља доминантни приступ у досадашњем начину обављања унутрашњег транспорта, а даје се и закључак о неопходности примене интелигентних технологија у циљу модернизације постојећег стања и смањења производних трошкова.

У трећем поглављу су представљене основне информације у вези теоријских концепата који су коришћени током истраживања. У поглављу је дата дефиниција и анализа стања мобилног робота у производном окружењу, уведена је математичка формулација модела кретања и модела перцепције мобилног робота на бази теорије вероватноће, введен је у разматрање алгоритам Калмановог филтра, као и алгоритам линеаризованог Калмановог филтра који је настао развијањем нелинеарних модела стања система и сензорског модела у Тејлоров ред.

Четврто поглавље представља машинско учење вештачке неуронске мреже са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа. У поглављу су дате основне информације о овом типу вештачких неуронских мрежа и представљена су три оригинална алгоритма машинског учења развијена на бази линеаризованог Калмановог филтра, линеаризованог информационог филтра и алгоритма специфичне апроксимације момената. Алгоритми су секвенцијалног типа, што омогућава *on line* спровођење машинског учења. Развијени алгоритми примењени су у MATLAB® програмском окружењу, уз сопствени развој одговарајућег програмског кода. Оцена перформанси и експериментална верификација развијених алгоритама машинског учења извршена је применом вештачке неуронске мреже са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа за моделирање три реална инжењерска проблема, који представљају уобичајене скупове података за тестирања нових алгоритама машинског учења. У оквиру овог поглавља анализирани су параметри, као што су почетне вредности вектора стања система и матрице коваријанси, као и матрице шума система и матрице шума мерења, који директно утичу на тачност процеса машинског учења и конвергенцију развијених алгоритама. На крају поглавља је дата анализа и дискусија остварених резултата примене развијених алгоритама машинског учења за обучавање вештачких неуронских мрежа са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа у домену реалних инжењерских проблема, као што је нпр. моделирање топологије обрађене површине. У закључку овог поглавља су наведени и правци даљег развоја и побољшања развијених алгоритама машинског учења.

У петом поглављу докторске дисертације введен је концепт симултаног оцењивања положаја мобилног робота и положаја карактеристичних објеката у окружењу. Констатовано је да континуирано решавање овог проблема представља основни предуслов за аутономно обављање унутрашњег транспорта у технолошком окружењу применом интелигентних мобилних робота. Полазни проблем који је третиран може се једноставно описати на следећи начин: потребно је развити такав алгоритам, који треба симултано да оцењује положај мобилног робота на основу непознатих положаја карактеристичних објеката, као и положаје карактеристичних објеката на основу непознатог положаја мобилног робота. Анализа постављеног проблема и општа математичка формулација на бази Бајесовог филтра и изведене рекурзивне форме за оцењивање, указали су на то да корелација између положаја мобилног робота и положаја карактеристичних објеката не може да буде занемарена. У поглављу је дат преглед стања у области истраживања, као и критичка анализа досадашњих истраживачких резултата. Уведен је алгоритам линеаризованог Калмановог филтра за решавање проблема симултаног оцењивања положаја мобилног робота и положаја карактеристичних објеката у окружењу и дат је детаљни приказ примене овог алгоритма. Алгоритам је тестиран у MATLAB® програмском окружењу, уз развој оригиналног кода. Сprovedена анализа након 50 Монте Карло понављања недвосмислено указује да линеаризовани Калманов филтар постаје оптимистичан, у смислу да подцењује

стварну грешку оцењивања. С обзиром да оптималност филтра директно зависи од његове конзистентности, у наставку је приказан оригинални алгоритам симултаног оцењивања положаја мобилног робота и карактеристичних објеката који треба да да вишу тачност оцене коваријансе вектора стања система у поређењу са полазним алгоритмом. У том смислу, развијен је оригинални алгоритам који представља интеграцију вештачких неуронских мрежа са линеаризованим Калмановим филтром - неуронски линеаризовани Калманов филтар. Нови алгоритам је примењен коришћењем следећих вештачких неуронских мрежа: перцептрона са једним скривеним слојем, перцептрона са два скривена слоја и вештачке неуронске мреже са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа. Показано је како се параметри одговарајуће вештачке неуронске мреже уводе у вектор стања система и дат је детаљан приказ примене алгоритма неуронског линеаризованог Калмановог филтра. Карактеристике овог новог алгоритма су оцењене на основу симулације у MATLAB® програмском окружењу, уз развој оригиналног кода. Резултати симулације недвосмислено указују да након 50 Монте Карло понављања, неуронски линеаризовани Калманов филтар остаје у теоретским оквирима знатно дужи од линеаризованог Калмановог филтра, као и да је конзистентност филтра побољшана увођењем вештачке неуронске мреже у процес оцењивања. Приликом поновне детекције карактеристичних објеката који се већ налазе у оквиру вектора стања, неуронски линеаризовани Калманов филтар генерише боље оцене грешке, па самим тим и остаје у оквиру граница одређених бројем независних Монте Карло понављања. Ова чињеница је од изузетне важности за оцењивање положаја мобилног робота, као и за кретање мобилног робота у дужем временском интервалу. Поменути предност се директно односи на основни проблем који је третиран у докторској дисертацији, а то је интелигентни унутрашњи транспорт остварен коришћењем мобилних робота.

У шестом поглављу докторске дисертације представљена је примена неуронског линеаризованог Калмановог филтра на мобилном роботу *Khepera II*, уз аквизицију информација добијених од калибрисане камере. У оквиру овог поглавља докторске дисертације спроведена је критичка анализа примене камере као спољашњег сензора у систему мобилног робота, као и преглед постојећих метода побољшања модела кретања мобилних робота. Спроведена анализа релевантних извора указује на то да постоји наглашена потреба спровођења *on line* модификације параметара модела кретања мобилног робота током експлоатације. Интеграција вештачке неуронске мреже са линеаризованим Калмановим филтром омогућава моделирање непознатих недетерминистичких утицаја у реалном времену захваљујући модификацији параметара вештачке неуронске мреже (кроз машинско учење). Основна идеја неуронског линеаризованог Калмановог филтра употребљена је за моделирање кретања мобилног робота, односно за побољшање полазног математичког модела. У поглављу је дат детаљни приказ усвојеног модела камере (модел инфинитезималног отвора бленде), усвојеног модела радијалне дисторзије слике, начина дефинисања и детекције карактеристичних објеката, модела реципрочне удаљености карактеристичних објеката, предикције изгледа карактеристичних објеката након померања мобилног робота и утврђивање степена сличности између два карактеристична објекта. Наведени прикази су неопходни за увођење алгоритма неуронског линеаризованог Калмановог филтра чије је извођење, за случај аквизиције информација добијених од калибрисане камере, детаљно дато у оквиру овог поглавља. Оцена употребљивости алгоритма неуронског линеаризованог Калмановог филтра је спроведена применом експерименталног метода коришћењем лабораторијског мобилног робота *Khepera II* и WEB камере у лабораторијском моделу технолошког окружења. За потребе експерименталног поступка развијена је MATLAB® апликација која извршава управљање мобилног робота, аквизицију слике, идентификацију карактеристичних објеката и оцењивање положаја у *on line* режиму. Развијени алгоритам оцене положаја мобилног робота и карактеристичних објеката у окружењу упоређен је са линеаризованим Калмановим филтром и моделом оцене положаја на основу одометрије. Оригинално развијени неуронски линеаризовани Калманов филтар омогућује успешну *on line* модификацију параметара вештачке неуронске мреже (кроз машинско учење) током експлоатације мобилног робота и заснива се на чињеници да вештачка неуронска мрежа може да научи (оцени) нелинеарну везу која постоји између стања мобилног робота и управљачких величина. Информације о овој функционалној зависности се „налазе” у параметрима вештачке неуронске мреже. Експериментални резултати потврђују да неуронски линеаризовани Калманов филтар у идентичним контролисаним условима генерише оцмену положаја мобилног робота више тачности.

У седмом поглављу представљени су експериментални резултати примене интелигентних мобилних робота у лабораторијском моделу технолошког окружења. У првом делу седмог поглавља представљена је оригинална управљачка архитектура за навигацију мобилног робота у технолошком окружењу, уз увођење особина које мобилни робот као интелигентни агент треба да поседује (друго поглавље докторске дисертације). Архитектура је хибридног типа, с обзиром да омогућава и планирање и брзе реакције, а уобичајени приступ углавном раздваја ова два концепта. Предложено решење једнозначно дефинише аквизицију и процесирање сензорских информација, планирање активности мобилног робота и њихово извршавање. Нова хибридна управљачка архитектура има четири основна блока: сензорски блок, блок перцепције и планирања акција робота, блок брзих реакција и излазни блок. У поглављу је дат детаљни приказ свих наведених блокова, уз оцену перформанси применом експерименталног поступка. Експеримент је спроведен у лабораторијском моделу технолошког окружења коришћењем *LEGO Mindstorms NXT* мобилног робота. Експериментални резултати потврђују применљивост развијеног концепта тока информација у систему мобилног робота и указују на то да је посебна предност оваког решења у њеној модуларности. Појединачни модули могу бити развијени применом других алгоритама оцењивања положаја, планирања путање и моделирања брзих реакција робота. Међутим, кључна идеја на којој су и постављене основе развоја хибридне управљачке архитектуре остаје непромењена. Модуларност предложеног решења има посебну специфичну тежину у реалним условима рада мобилног робота где динамички карактер технолошког окружења подразумева непрестана побољшања постојећих и развој нових модула. У другом делу седмог поглавља докторске дисертације приказан је нови хибридни управљачки алгоритам за управљање и оцену положаја мобилног робота на бази информација добијених од калибрисане камере. На основу критичке анализе релевантних извора закључено је да камера, као спољашњи сензор, није довољно примењена у постојећим системима унутрашњег транспорта на бази аутоматски вођених робоколица-мобилних робота. Да би се овај недостатак отклонио, развијен је оригинални хибридни алгоритам, у коме је камера примењена за визуелно навођење према жељеном положају (дефинисан циљном сликом) ради преузимања радног предмета, као и за оцењивање положаја мобилног робота на основу неуронског линеаризованог Калмановог филтра. Нови хибридни управљачки алгоритам сачињавају две основне управљачке петље: управљање на основу положаја и управљање на основу информација од камере. Примена развијеног алгоритма подразумева циљни положај за глобалну навигацију (налази се непосредно испред машине алатке/међускладишта) и циљну слику за локалну навигацију (одређена аквизицијом сензорских информација од камере након довођења мобилног робота у жељени положај који омогућава преузимање радног предмета). Овакав приступ раздваја почетни транспортни задатак на два дела: кретање од почетног положаја до циљног положаја (глобално) и кретање од циљног положаја до машине алатке/међускладишта (локално). На овај начин је елиминисана потреба за информацијом о распореду објеката у технолошком окружењу. Поред ове предности, треба нагласити да за примену развијеног хибридног управљачког алгоритма, ради навигације мобилног робота, нису потребни вештачки постављени карактеристични објекти у технолошком окружењу, као и да се развијени хибридни алгоритам може секвенцијално применити на више транспортних задатака. Нови хибридни управљачки алгоритам је тестиран током извођења експерименталног процеса коришћењем *Khepera II* мобилног робота, хватача *Khe Gripper* и WEB камере у лабораторијском моделу технолошког окружења. За потребе спровођења експеримента развијен је посебан код у оквиру MATLAB® програмског окружења. Експериментални резултати, представљени у оквиру овог поглавља, потврђују да приказани концепт може бити успешно примењен, уз указивање на правце даљег развоја и истраживања.

У осмом поглављу (*Закључак*) изведени су закључци на основу претходно презентираних експерименталних резултата и разматрања, а дат је и предлог даљих истраживања.

На крају је наведена литература која је коришћена током спроведених истраживања и рада на реализацији докторске дисертације.

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација кандидата Најдана Вуковића, дипл.инж.маш., под називом „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА” представља савремен и оригиналан приступ, као и евидентан научан допринос разматраном проблему развоја машинског учења на бази система вештачких неуронских мрежа у циљу примене интелигентних мобилних робота за унутрашњи транспорт у оквиру технолошког окружења. У докторској дисертацији анализира се могућност примене интелигентних мобилних робота за потребе унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова, што представља изразито комплексан научно-инжењерски истраживачки циљ. Развојем нових алгоритама машинског учења вештачких неуронских мрежа на бази линеаризованог Калмановог филтра, линеаризованог информационог филтра и алгоритма специфичне апроксимације момената Гаусове расподеле, кандидат је демонстрирао изразиту способност за даљи веома успешан научно-истраживачки рад. Примена алгоритама симултаног оцењивања положаја мобилног робота и карактеристичних објеката на бази линеаризованог Калмановог филтра, као и побољшања у виду развоја новог алгоритма интеграцијом линеаризованог Калмановог филтра са вештачким неуронским мрежама, указују на то да је кандидат овладао проблемом комплексног мултидисциплинарног истраживања и да је анализом референтне литературе увидео могућност значајног побољшања постојећих метода. Оригиналност ове докторске дисертације огледа се у новим алгоритмима машинског учења и симултаног оцењивања положаја мобилног робота и карактеристичних објеката у технолошком окружењу, критичким анализама које су спроведене у оквиру свих поглавља докторске дисертације, применама развијених алгоритама у виду развоја оригиналних програмских кодова, као и у потпуно новим експериментима који су настали као резултат истраживачких напора кандидата. Резултати остварени у оквиру овог истраживања потврђују актуелност и значај докторске дисертације за научно-стручну јавност, како у Србији тако и у иностранству.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Због изразито мултидисциплинарног карактера теме докторске дисертације, коришћена је обимна литература из области производног машинства, роботике, теорије оцењивања и машинског учења на бази вештачких неуронских мрежа. У литератури која је наведена у докторској дисертацији преовлађују истраживачки резултати новијег датума, објављених у референтним научно-стручним часописима високог ранга, што указује на савременост докторске дисертације. Наведена литература је кандидату послужила као полазна основа за преглед стања у области и критичку анализу постојећих метода истраживања везаних за примену машинског учења на бази вештачких неуронских мрежа у циљу увођења интелигентних мобилних робота при обављању унутрашњег транспорта. На овај начин је дат релевантан приказ постојећег стања у областима којима припадају проблеми који су решавани у докторској дисертацији. Верификација развијених алгоритама, уз примену експерименталног метода и симулације, спроведена је и на бази наведене референтне литературе. Коришћене референце представљају одличан избор савремене и актуелне литературе која, осим прегледа релевантних научних резултата, указује и на могуће правце даљег научног рада, што је кандидат на најбољи начин искористио у свом вишегодишњем истраживању.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У циљу истраживања примене интелигентних мобилних робота у оквиру унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова развојем машинског учења на бази вештачких неуронских мрежа, у докторској дисертацији је коришћен већи број савремених научно-истраживачких метода. Примена стохастичких метода теорије оцењивања омогућила је увођење белог шума у систем мобилног робота, тачније у коришћене моделе кретања и перцепције. На овај начин је обезбеђено несметано функционисање мобилног робота

у реалном окружењу, где несавршености у самом систему мобилног робота, као и карактеристике окружења, значајно смањују употребну вредност детерминистичких метода. Међутим, анализа експерименталних и симулационих резултата је указала и на потребу повишења робустности система у погледу утицаја немоделираних фактора. У том смислу, уведене су вештачке неуронске мреже као кључна парадигма вештачке интелигенције за моделирање непознатих фактора чији се утицај на функционисање мобилног робота не може предвидети. Машинско учење вештачких неуронских мрежа, односно модификација параметара сходно усвојеном критеријуму перформансе, обавља се у реалном времену, што обезбеђује брзо и ефикасно прилагођавање развијеног модела новим условима у окружењу. Машинско учење вештачке неуронске мреже траје током експлоатације мобилног робота, што доприноси робустности развијеног система. Адекватност примењених метода оправдана је потврдом високе тачности добијених резултата и њиховим поређењем са резултатима наведеним у референтној литератури.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Резултати остварени у овој докторској дисертацији, поред евидентне научне вредности, имају и изразиту могућност примене у пракси, посебно ако се има у виду општи карактер коришћених метода. Симулациони резултати примене нових алгоритама машинског учења који су развијени у оквиру ове докторске дисертације показују високу тачност, што одговара резултатима који су објављени у референтној литератури за исте или сличне скупове података. С друге стране, развијени алгоритам неуронског линеаризованог Калмановог филтра за оцену положаја мобилног робота аквизицијом информација добијених од калибрисане камере, директно је упоређен са линеаризованим Калмановим филтром и одометријским моделом оцене положаја мобилног робота. Применом експерименталног метода утврђено је да оригинално развијени алгоритам генерише оцене више тачности. Поред овог начина, симулациони резултати указују на то да је неуронски линеаризовани Калманов филтар, без обзира на тип коришћене вештачке неуронске мреже, бољи од линеаризованог Калмановог филтра за исте почетне услове и усвојене параметре, као и да увођење вештачке неуронске мреже побољшава конзистентност филтра, а тиме и његову оптималност.

У току спровођења истраживања, два рада кандидата су цитирана. Први цитирани рад је објављен у часопису националног значаја (M52) - FME Transactions, који је цитиран у оквиру прегледног рада посвећеног развоју хибридних роботских управљачких архитектура, у истакнутом часопису (M22) са SCI листе:

Nakhaeina, D., Tang, S.H., MohdNoor, S.B., Motlagh, O., **A review of control architectures for autonomous navigation of mobile robots**, *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 6(2), pp. 169-174, Published: 18 January, 2011;
Available online at <http://www.academicjournals.org/IJPS>,

Цитиран рад: Vuković, N., Miljković, Z., *New hybrid control architecture for intelligent mobile robot navigation in a manufacturing environment*, FME Transactions (ISSN 1451-2092), New Series, Vol.37 No.1, pp. 9-18, University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, (2009).

Други цитирани рад је са престижне међународне конференције *International Conference on Manufacturing Engineering* (ICMEN), одржане 2008. године у Грчкој. Рад је цитиран у:

Albuquerque, L., Álvares, A., **An Analysis of the Integration of Mobile Robots in the Industrial Manufacturing Automation, and its Role in Flexible Manufacturing Systems**, 6th BRAZILIAN CONFERENCE ON MANUFACTURING ENGINEERING, 11-15 April, 2011.

Цитиран рад: Miljković, Z., Vuković, N., Babić, B., *Mobile Robot Localization in a Manufacturing Environment*, Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2008) and EUREKA Brokerage Event, pp. 485-494, Kallithea of Chalkidiki, Greece, 1-3 October, 2008.

3.5. Оцена 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.

4. Остварен научни допринос

4.1. Приказ оствареног научног доприноса

Остварени научни допринос настао као резултат истраживања у оквиру докторске дисертације „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА” огледа се кроз:

- Интеграцију вештачких неуронских мрежа са алгоритмом линеаризованог Калмановог филтра за симултану оцену положаја мобилног робота и положаја карактеристичних објеката – остварен је неуронски линеаризовани Калманов филтар. Алгоритам је тестиран у експерименталном поступку, као и кроз симулациону анализу утицаја параметера;
- Нове алгоритме машинског учења вештачких неуронских мрежа са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа на бази линеаризованог Калмановог филтра, линеаризованог информационог филтра и алгоритма специфичне апроксимације момената Гаусове расподеле. Алгоритми су тестирани на реалним инжењерским проблемима;
- Предлог новог хибридног управљачког алгоритма за мобилне роботе који *a priori* не захтева информације о распореду објеката у технолошком окружењу. На основу информација добијених од камере може да се омогући визуелно навођење ка машини алатки или међускладишту, уз истовремено оцењивање положаја мобилног робота;
- Предлог нове хибридне управљачке архитектуре за навигацију мобилних робота у технолошком окружењу. Развијена архитектура омогућава мобилном роботу да самостално дефинише путању кретања, одреди свој положај и прати одређену путању са задатом тачношћу. Архитектура је хибридног карактера и обухвата способност планирања будућих акција и брзог реаговања на стимуланс из технолошког окружења;
- Експерименталну потврду полазних хипотеза, као и анализу понашања система на основу симулације.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру истраживања спроведених у овој докторској дисертацији предложене су и развијене нове методе за решавање полазног проблема. Развијени су алгоритми машинског учења вештачких неуронских мрежа са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа. Експериментални резултати развијених алгоритама машинског учења показују потребан ниво тачности који је неопходан у циљу моделирања инжењерских проблема. Развој алгоритма неуронског линеаризованог Калмановог филтра за симултану оцену положаја мобилног робота и карактеристичних објеката спроведен је путем симулације и *in vivo* експеримената. Симулациони резултати указали су на то да увођење вештачке неуронске мреже у процес оцењивања обезбеђује већу конзистентност, а тиме и побољшање оптималности филтра. На основу овог закључка, изведен је алгоритам неуронског линеаризованог Калмановог филтра, уз примену система препознавања на бази калибрисане камере. На овај начин су, путем симулације и спровођења бројних експеримената, оцењене перформансе алгоритма неуронског линеаризованог Калмановог филтра и показано је да развијени алгоритам генерише боље оцене (у смислу више тачности) од уобичајеног приступа анализираном проблему. Развој новог хибридног управљачког алгоритма за визуелно навођење и оцењивање положаја мобилног робота, као и предлога хибридне архитектуре за навигацију мобилног робота у технолошком окружењу, успешно је верификован и оцењен у експерименталном поступку у оквиру лабораторијског модела технолошког окружења. Примена вештачких неуронских мрежа, у оквиру

ова два предлога, омогућила је већу робустност у погледу непознатог спољашњег утицаја који не може да буде експлицитно квантификован.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

С обзиром на савременост и актуелност теме истраживања докторске дисертације, а према референтној литератури, уочава се да је спроведено истраживање било неопходно, те се стога очекује значајна примена резултата и метода датих у овој докторској дисертацији. Различити проблеми из инжењерске праксе могу да буду адекватно моделирани развојем модела базираног на вештачким неуронским мрежама са радијалним активационим функцијама Гаусовог типа, чији се параметри оптимизирају применом једног од три предложена и развијена алгоритма машинског учења. Развијени алгоритам неуронског линеаризованог Калмановог филтра, уз аквизицију сензорских информација од камере, омогућава боље оцене грешке положаја мобилног робота од уобичајених приступа за решавање овог проблема. Примена новог хибридног управљачког алгоритма за визуелно навођење мобилног робота према машини алатки или међускладишту, који је базиран на аквизицији информација од камере, захтева мањи број параметара неопходних за иницијализацију и обезбеђује распрезање полазног проблема унутрашњег транспорта на два независна подпроблема. Предложена хибридна управљачка архитектура за навигацију мобилних робота у технолошком окружењу обезбеђује остварење већине особина које интелигентни агент треба да поседује. Резултати остварени током истраживања у оквиру ове докторске дисертације представљају основу на којој се може извршити напредно увођење и примена интелигентних мобилних робота за потребе обављања унутрашњег транспорта у производном технолошком окружењу.

4.4. Верификовани научни доприноси

Научни допринос докторске дисертације је верификован бројним радовима објављеним у референтним научним часописима и на престижним конференцијама у земљи и иностранству:

M14 Поглавље у монографији међународног значаја категорије M12 или рад у тематском зборнику међународног значаја

- [1] Vuković,N., Miljković,Z., *Extended Kalman Filter in Autonomous Mobile Robot Localization and Mapping*, Scientific paper printed in Bulletin of the Transilvania University of Brasov (Paper presented at the 4th International Conference on Robotics – ROBOTICS '08, 13-14 November, 2008), Vol. 15 (50) – Series A (ISSN 1223-9631), Published by Transilvania University Press – Special Issue No.1 Vol. II (ISBN 978-973-598-387-1), pp. 435-444, Brasov, Romania, November 2008.

M23 Научни радови у међународним часописима (SCI-Web of Science®)

- [2] 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) – 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 = 0,283 (2010) → M23; извор KoBSON)
- [3] Petrović,M., Miljković,Z., Babić,B., Vuković,N., Čović,N., *Towards a Conceptual Design of Intelligent Material Transport Using Artificial Intelligence*, Strojarstvo (ISSN 0562-1887), Accepted paper - Article in press (2012) (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,222 (2010) → M23; извор KoBSON).

M52 Рад у часопису националног значаја

- [4] Vuković,N., Miljković,Z., *New hybrid control architecture for intelligent mobile robot navigation in a manufacturing environment*, FME Transactions (ISSN 1451-2092), New Series, Vol.37 No.1, pp. 9-18, University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, 2009.

Овај рад, објављен у часопису националног значаја, цитиран је у истакнутом часопису (M22) са SCI листе, што је сигурно један од доприноса да је FME Transactions од 2011. годишта видљив у SCOPUS бази и да је од 2012.г. уврштен у категорију (M24) одлуком Матичног одбора за машинство:

Nakhaeina,D., Tang,S.H., Mohd Noor,S.B., Motlagh,O., *A review of control architectures for autonomous navigation of mobile robots*, International Journal of the Physical Sciences, Vol. 6(2), pp. 169-174, Published: 18 January, 2011.
Available online at <http://www.academicjournals.org/IJPS>

M53 Рад у научном часопису

- [5] Вуковић,Н., Миљковић,З., Бабић,Б., Човић,Н., *Индустријски мобилни роботи у интелигентним технолошким системима*, Часопис ТЕХНИКА-Машинство (ISSN 0040-2176), LXIII, Вол. 57 бр.4, стр. 11-18, 2008.

M33 Саопштења са међународних скупова штампана у целини

- [6] Vuković,N., Miljković,Z., Babić,B., Čović,N., *Towards implementation of intelligent mobile robots in a manufacturing environment*, Proceedings of the 4th International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2011), Thessaloniki, October 2011, Greece, pp. 367-376, 2011.
- [7] Vuković,N., Miljković,Z., Babić,B., Bojović,B., *Training of Radial Basis Function Networks with H_∞ Filter-Initial Simulation Results*, Proceedings of the 6th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", pp. 163-168, Belgrade, Serbia, 2011.
- [8] Petrović,M., Miljković,Z., Babić,B., Vuković,N., Čović,N., *Towards a Conceptual Design of an Intelligent Material Transport Based on Machine Learning and Axiomatic Design Theory*, Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering, pp.389-392, Niš,Serbia, 2011.
- [9] Miljković,Z., Vuković,N., Babić,B., *Mobile Robot Localization in a Manufacturing Environment*, Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2008) and EUREKA Brokerage Event, pp. 485-494, Kallithea of Chalkidiki, Greece, 1-3 October, 2008.

Овај рад је цитиран у:

Albuquerque,L., Álvares,A., *An Analysis of the Integration of Mobile Robots in the Industrial Manufacturing Automation, and its Role in Flexible Manufacturing Systems*, 6th BRAZILIAN CONFERENCE ON MANUFACTURING ENGINEERING, 11-15 April 2011.

- [10] Vuković,N., Koruga,Đ., Lazarević,M., Miljković,Z., *Trajectory Generation for Bipedal Walking*, Proceedings of the First Serbian (26th YU) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, pp. 939-948, Kopaonik, Serbia, 10-13 April, 2007.
- [11] Vuković,N., Miljković,Z., *Simulation of the Insect Robot Walking Over Level Terrain*, Proceedings of the 11th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2007, pp. 603-606, Hammamet, Tunisia, 2007.

М63 Саопштења са скупа националног значаја штампана у целини

- [12] Петровић,М., Лукић,Н., Вуковић,Н., Миљковић,З., *Мобилни робот у унутрашњем транспорту материјала интелигентног технолошког система – едукација и развој*, 36. ЈУПИТЕР Конференција, 32. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова - CD, стр. 3.85-3.90, Београд, 11-12. мај 2010.
- [13] Миљковић,З., Вуковић,Н., Бабић,Б., Бојовић,Б. Човић,Н., *Интелигентни технолошки системи у домену производње делова од лима*, 32. Саветовање производног машинства Србије, Зборник радова, стр. 563-566, Нови Сад, 18-20. септембар, 2008.
- [14] Вуковић,Н., Миљковић,З., Лазаревић,М., *Симулација хода инсект робота по равном терену*, 33. ЈУПИТЕР Конференција, 29. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова - CD, стр. 3.55-3.64, Златибор, 2007.

Научно-истраживачки, стручни и образовно-развојни пројекти – техничка решења

- 1. Бабић,Б., Миљковић,З., Бојовић,Б., Вуковић,Н., **Снимање рада и одговарајућих технолошких времена линија за производњу лименки у компанији АД ФМП – Београд**, Београд 2008.
- 2. Вуковић,Н., Миљковић,З., Митић,М., Бабић,Б., Петровић,М., **Хибридни управљачки алгоритам за управљање и естимацију положаја интелигентног мобилног робота базираног на калибрисаној камери** (нова метода (М85): за управљање и оцењивање положаја мобилног робота развијена у пројекту ТР-35004 МПН Владе Републике Србије).
- 3. Миљковић,З., Бабић,Б., Вуковић,Н., Бојовић,Б., **Терминирање производње и утврђивање временских норматива у структури пројектованог технолошког процеса коришћењем методе снимања** (нова метода (М85): системско решење терминирања производње у оквиру интегрисаног дигиталног пословања; метода развијана у технолошким пројектима за предузећа „Монтпројект“ - Београд, „Виск“ - Београд и „ФМП д.о.о.“ - Београд, као и кроз активности пројекта технолошког развоја ТР-14031 МНТР Владе Републике Србије).
- 4. Митић,М., Миљковић,З., Вуковић,Н., Бабић,Б., Лазаревић,И., **Нови хибридни емпиријски управљачки систем интелигентног мобилног робота вертикалне зглобне конфигурације базиран на информацијама од камере** (нова метода (М85): обухвата интеграцију интелигентног система базираног на емпиријски прикупљеним информацијама добијеним од камере и класичног управљачког система робота на бази грешке која је у корелацији са параметрима слике, а развијена је у пројекту технолошког развоја ТР-35004 МПН Владе Републике Србије).

5. Закључак и предлог

Докторска дисертација под називом „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА“ кандидата Најдана Вуковића, дипл.инж.маш., представља актуелан и утемељен научно-истраживачки рад високог ранга, са оствареним евидентним оригиналним научним доприносом, који уз анализу разматраних проблема и кроз свеобухватно сагледавање тематике моделирања коришћењем вештачких неуронских мрежа у домену роботике, омогућава успешну напредну примену интелигентних мобилних робота за унутрашњи транспорт у производном технолошком окружењу.

На основу остварених резултата који су приказани у докторској дисертацији, сходно чињеници да је анализирана проблематика мултидисциплинарна и веома актуелна у научној јавности, констатује се да је кандидат Најдан Вуковић, дипл.инж.маш., завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима докторске дисертације, уз нагласак на то да је успешно доказана хипотеза која подразумева да модел

кретања мобилног робота, као и опсервациони модел (сензорски модел) подлежу нормалној (Гаусовој) расподели са међусобно независним шумовима, што може да се искористи за примену механизма машинског учења, заснованих на систему вештачких неуронских мрежа, у функцији предикције, одређивања положаја робота у моделираном окружењу и интелигентном решавању транспортног задатка.

На основу прегледа и оцене докторске дисертације кандидата

Најдана Вуковића, дипл.инж.маш.

са темом

**Развој машинског учења интелигентног мобилног робота
базиран на систему вештачких неуронских мрежа,**

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 Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути извештај 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, 14.06.2012. године

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

Др Драган Милутиновић, редовни професор
Машински факултет у Београду

Др Бојан Бабић, редовни професор
Машински факултет у Београду

Др Драган Александрић, доцент
Машински факултет у Београду

Др Вељко Поткоњак, редовни професор
Електротехнички факултет у Београду

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:1057/6
Датум: 21.06.2012.
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 12.2 Статута Машинског факултета Универзитета у Београду и члана 37. Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће на седници одржаној 21.06.2012. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео НАЈДАН ВУКОВИЋ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „РАЗВОЈ МАШИНСКОГ УЧЕЊА ИНТЕЛИГЕНТНОГ МОБИЛНОГ РОБОТА БАЗИРАН НА СИСТЕМУ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА“

II Универзитет је дана 24.10.2008. године, својим актом број 612-28/169-08 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

- [1] 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 (Thomson Reuters, SCOPUS, Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,375 (2011) → **M23**; извор KoBSON)
- [2] Miljković,Z., Vuković,N., Mitić,M., Babić,B., *New Hybrid Vision-Based Control Approach for Automated Guided Vehicles*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology (ISSN 0268-3768), Article in press_Doi: 10.1007/s00170-012-4321-y (Online First Articles – July 2012), Springer-Verlag London Ltd., (Thomson Reuters, Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,103 (2011) → **M22**; извор KoBSON)
- [3] Petrović,M., Miljković,Z., Babić,B., Vuković,N., Čović,N., *Towards a Conceptual Design of Intelligent Material Transport Using Artificial Intelligence*, Strojarstvo (ISSN 0562-1887), Accepted paper - Article in press (2012) (Science Citation Index-Web of Science® – IF = 0,222 (2010) → **M23**; извор KoBSON).

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић