Образац 2.

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)

764/5
(Број захтева)

22.05.2016. 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:

МИЛИЦА (МИЛАДИН) ПЕТРОВИЋ
(име,име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **МИЛИЦА (МИЛАДИН) ПЕТРОВИЋ** **уписана на Докторске студије 2010 године.**
(име, име једног од родитеља и презиме**)**

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:
ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА

Универзитет је дана 08.07.2013. год. својим актом под бр. 61206-3382/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:
ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **МИЛИЦЕ (МИЛАДИН) ПЕТРОВИЋ**
(име,име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 07.04.2016. године, одлуком факултета под бр.764/2 , 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 Милош Главоњић	Ред.проф. у пензији	Производно машинство	Машински факултет Београд
4.	Др Милан Зељковић	Ред.проф.	Производно машинство	ФТН Универзитет у Новом Саду
5.	Др Миодраг Манић	Ред.проф.	Производно машинство	Универзитет у Нишу – Машински факултет

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 21.04.2016. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф.др Радивоје Митровић

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: 764/4
Датум: 21.04.2016. 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 факултетета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Зоран Миљковић, ред. проф., ментор, др Бојан Бабић, ред. проф., др Милош Главоњић, ред. проф. М.Ф. у пензији, др Милан Зељковић, ред. проф., Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука и др Миодраг Манић, ред. проф., Универзитет у Нишу - Машински факултет, о оцени докторске дисертације „Вештачка интелигенција у пројектовању интелигентних технолошких система“ студента докторских студија **Милице Петровић**, **маст.инж.маш**., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 21.04.2016. године, донело је следећу

О Д Л У К У

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА“** студента **МИЛИЦЕ ПЕТРОВИЋ**, **маст.инж. маш.**

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 Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
Овде

Предмет: **Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Милице М. Петровић, мастер инжењера машинства, студенткиње докторских студија**

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 764/2 од 07.04.2016.г. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Милице М. Петровић, маст.инж.маш., под насловом:

„ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА”

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

Р Е Ф Е Р А Т

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду кандидаткиња Милица М. Петровић уписала је школске 2010/2011. године. Кандидаткиња је пријавила тему докторске дисертације под називом: „ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА” и за ментора предложила проф. др Зорана Миљковића. На основу пријаве кандидаткиње број 1072/1 од 22.05.2013. године, сагласности Катедре за производно машинство број 1072/2 од 11.06.2013. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је одлуком бр. 1072/3 од 13.06.2013. године прихватило предлог и именовало 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 Милош Главоњић, ред.проф., др Милан Зељковић, ред.проф., др Миодраг Манић, ред.проф. На основу извештаја Комисије и одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду, поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду (захтев бр. 1072/6 од 27.06.2013. године), које је на седници одржаној 08.07.2013. године донело одлуку да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Милице М. Петровић, маст.инж.маш. (одлука бр. 61206-3382/2-13 од 08.07.2013. године), а на основу чега је 11.07.2013. године Декан Машинског факултета у Београду донео закључак бр. 1455/1 о одобравању рада на предметној дисертацији под менторством проф. др Зорана Миљковића.

На основу извештаја ментора, проф. др Зорана Миљковића, упућеног Катедри за производно машинство 22.03.2016. године, да је докторанткиња Милица М. Петровић завршила докторску дисертацију под називом "ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ

ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА", као и предлога Катедре за производно машинство, Наставно-научно веће Машинског факултета донело је одлуку број 764/2 од 07.04.2016. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у истом саставу: др Зоран Миљковић, ред.проф., др Бојан Бабић, ред.проф., др Милош Главоњић, ред.проф., др Милан Зељковић, ред.проф., др Миодраг Манић, ред.проф.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ 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 кандидаткињи

Милица (Миладин) Петровић, маст.инж.маш., рођена је 28.08.1986. године у Горњем Милановцу, Република Србија. Основну школу „Сава Керковић" и гимназију „Хиљаду триста каплара" у Љигу завршила је са одличним успехом, а за постигнуте резултате је награђена дипломама „Вук Стефановић Караџић". На Машински факултет Универзитета у Београду уписала се школске 2005/2006. године. Основне академске студије завршила је 2008. године са просечном оценом 9.86 (девет и 86/100) и оценом 10 (десет) на завршном раду (BSc) под насловом *„Анализа могућности примене робоколица у флексибилном технолошком систему за израду лименки"* из предмета Технологија машинске обраде (ментор проф. др Зоран Миљковић). Школске 2008/2009. године уписала је Мастер академске студије на Катедри за производно машинство, а исте завршила 28. септембра 2010. године са просечном оценом 10 (десет), одбранивши дипломски-мастер рад (MSc) на тему *„Прилог развоју интелигентног технолошког система у домену унутрашњег транспорта базиран на машинском учењу"* из предмета Интелигентни технолошки системи (ментор проф. др Зоран Миљковић), са оценом 10 (десет). Укупна просечна оцена током студија је 9.93 (девет и 93/100).

Након дипломирања, 5. новембра 2010. године, уписала је Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду (број индекса Д2/10). Током првог семестра Докторских студија утврђени су њени правци научноистраживачког рада на Катедри за производно машинство, да би одлуком број 2135/1 од 04.07.2011. године био озваничен и Програм усавршавања, који се реализује под руководством проф. др Зорана Миљковића. Кандидаткиња је положила све испите на Докторским студијама Машинског факултета у Београду са просечном оценом 10 (десет).

Кандидаткиња је награђивана поводом Дана факултета за изванредан успех постигнут на свим годинама Основних академских студија (шк. 2005/2006, 2006/2007. и 2007/2008. година) и Мастер академских студија (шк. 2008/2009. и 2009/2010. година). Добила је награду за најбољег студента на трећој години Основних студија, првој и другој години Мастер академских студија, као и за најбољег студента на Мастер академским студијама. Добитница је Годишње награде Привредне коморе Београда за најбољи мастер рад студената за школску 2009/2010. годину, као и Признања на 34. Међународном Саветовању производног машинства одржаном 2011. године у Нишу за најбољу презентацију рада младих истраживача (истраживачи млађи од 30 година). Такође, примала је стипендије Министарства просвете Републике Србије (од 2001. до 2009. године), Асоцијације „Seine et Sava", Париз, Француска (од 2007. до 2011. године), као и стипендије Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта Владе Републике Србије – најбољих 1000 студената (шк. 2009/2010. година).

Од 1. јануара 2011. године је запослена на Машинском факултету у Београду, најпре као стручни сарадник на научноистраживачком пројекту технолошког развоја *„Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима",* који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја

Владе Републике Србије (*евид. бр.* ТР-35004, руководилац пројекта проф. др Бојан Бабић), а затим, од 1. маја 2011. године, и као асистенткиња на Катедри за производно машинство.

Као студенткиња Докторских студија, кандидаткиња је кроз вишегодишњи рад на научноистраживачком пројекту, постала аутор или коаутор укупно 26 радова објављених у водећим међународним и националним часописима, као и у зборницима радова међународних и националних научних скупова. Истовремено, као аутор или коаутор, реализовала је 7 техничких решења у оквиру научноистраживачког пројекта на којем је учествовала.

Од самог почетка Докторских студија, почевши од зимског семестра школске 2010/2011. године, Милица М. Петровић је активно укључена у наставни процес Катедре за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду, и то на Основним академским студијама (предмети: *Компјутерска симулација и вештачка интелигенција и Технологија машинске обраде*) и Мастер академским студијама (предмети: *Интелигентни технолошки системи*; *Методе одлучивања*; *Аксиоматске методе* – закључно са школском 2013/2014. годином). Кандидаткиња на овим наставним предметима реализује све видове вежби (аудиторне вежбе, лабораторијске вежбе, преглед самосталних задатака, преглед пројеката). Такође, кандидаткиња учествује и у активностима НИО-Машински факултет у Београду у погледу одржавања лабораторијске опреме, четири комплета мобилних робота *LEGO Mindstorms NXT*, као и *Khepera II – KheIIBase* мобилног робота са додатном опремом (компатибилна камера *CMUcam VISION TURRET–KheCMUCam*; роботска рука *Khepera Gripper Turret* – хватач *KheGrip*).

Енглески језик:	говори, чита, пише
Руски језик:	пасивно знање
Рад на рачунару:	напредно коришћење (MS Office, Adobe Photoshop, LaTeX, AutoCAD, SolidWorks, MATLAB®, Fortran, AnyLogic, TRIZ, CorelDRAW)
Истраживачке области:	Производно машинство, Интелигентни технолошки системи, Биолошки инспирисане технике вештачке интелигенције, Роботика, Методе одлучивања, Технологије машинске обраде.

Члан је организационог одбора 38., 39. и 40. ЈУПИТЕР конференције, ЈУПИТЕР асоцијације и Комисије за маркетинг студија.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Милице М. Петровић, маст.инж.маш., под називом „ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА” изложена је на 319 страница формата А4 и садржи 67 једначина, 73 слике и дијаграмска приказа, 93 табеле и 150 коришћених референтних литературних извора. Докторску дисертацију чини следећих десет поглавља и два прилога:

1. Увод
2. Преглед стања у области истраживања
3. Концепцијско пројектовање интелигентних технолошких система
4. Флексибилност и представљање технолошких процеса
5. Математички модели за оптимизацију технолошких процеса и планова терминирања
6. Биолошки инспирисане технике вештачке интелигенције у оптимизацији флексибилних технолошких процеса
7. Биолошки инспирисане технике вештачке интелигенције у интегрисаном пројектовању оптималних флексибилних технолошких процеса и планова терминирања
8. Експериментални резултати
9. Закључак
10. Литература

Прилози

Осим наведеног, дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, спискове слика и табела, спискове ознака и акронима, као и биографију аутора и изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу текста докторске дисертације указано је на потребу и значај увођења новог мултидисциплинарног приступа, базираног на примени напредних - биолошки инспирисаних интелигентних технологија 21. века, у пројектовању интелигентних технолошких система. Наводи се да је развојем концепта интелигентних технолошких система, односно развојем нових информационих технологија на бази биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције, омогућено пројектовање напредних, значајније интегрисаних производних окружења израженије флексибилности. У складу са тим, у уводу су дате и основне информације о три кључне функције неопходне за градњу ИТС-а: пројектовање оптималних технолошких процеса, оптимално терминирање производње и терминирање транспортних средстава у оквиру интелигентног технолошког система. Посебно је наглашен недостатак традиционалних приступа, где су функције ИТС-а посматране независно и извршаване секвенцијално, и могућност да се главни проблеми оваквог приступа (фаворизација и преоптерећеност одређених ресурса, планови терминирања са неизбалансираним искоришћењем производних ресурса, појава уских грла и немогућност прилагођавања динамичким променама у производним окружењима) превазиђу имплементацијом биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције при интеграцији поменутих функција. У завршном делу овог поглавља приказана је организација структуре докторске дисертације.

Друго поглавље докторске дисертације садржи преглед досадашњих достигнућа, кроз анализу најважније научне литературе и тренутног стања у мултидисциплинарној области истраживања на коју се дисертација односи. Имајући у виду комплексност истраживања и мултидисциплинарност теме, прегледом стања су обухваћене следеће три истраживачке области у оквиру интелигентних технолошких система: (i) пројектовање технолошких процеса, (ii) интегрисано пројектовање технолошких процеса и планова терминирања и (iii) терминирање транспортних средстава. У фокусу анализе и истраживања референтне литературе је имплементација биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције у оптималном пројектовању функција ИТС-а.

У трећем поглављу су представљене три методологије које се користе за концепцијско пројектовање интелигентних технолошких система. Најпре су појашњени основни принципи аксиоматске теорије пројектовања у конципирању интелигентног терминираног унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова у оквиру интелигентних технолошких система. Затим је представљена теорија инвентивног решавања проблема базирана на ТРИЗ методологији, која је кроз примену иновативних принципа у решавању контрадикторности између инжењерских параметара, коришћена при развоју софтверске апликације за интегрисано пројектовање и терминирање технолошких процеса и терминирање транспортних средстава. На крају овог поглавља је представљена мултиагентна методологија, са описом свих агената који чине мултиагентни систем, која је примењена у интеграцији производно технолошких ентитета - интелигентних агената при пројектовању интелигентних технолошких система.

Четврто поглавље се односи на флексибилност и представљање технолошких процеса обраде делова. Након увођења појма флексибилности у домен пројектовања технолошких процеса, дата је подела и објашњење за следећих пет типова флексибилности коришћених у овој докторској дисертацији: (i) флексибилност машина алатки (ii) флексибилност алата, (iii) флексибилност оријентација алата, (iv) флексибилност процеса и (v) флексибилност редоследа операција. Сваки од типова флексибилности додатно је појашњен на примеру репрезентативног реалног машинског дела за који су узете у обзир техничке карактеристике дела које укључују класе толеранције, класе храпавости са одговарајућим вредностима параметра храпавости R_a (средње аритметичко одстојање профила), алтернативне операције, алтернативне машине

алатке, алате и оријентације алата. Након тога је, на основу познатих информација о алтернативним ресурсима (алтернативним машинама алаткама, алтернативним алатима, алтернативним оријентацијама алата, алтернативним помоћним приборима), алтернативним редоследима операција, као и информацијама о свим операцијама (са потребним бројем захвата и пролаза) неопходним за обраду дела, приказан мрежни начин представљања флексибилних технолошких процеса, са описом карактеристичних конектора.

У петом поглављу су разматрани математички модели за вишекритеријумску оптимизацију технолошких процеса и оптимизацију планова терминирања технолошких процеса. Математички модел за оптимизацију технолошких процеса односи се на минимизацију укупног производног времена и минимизацију укупних трошкова производње. За разлику од осталих приступа у референтној литератури, а узимајући у обзир и чињеницу да производно време зависи како од карактеристика алтернативне машине алатке (конкретно од типа преносника – ступњевит или континуалан), тако и од геометрије алата, у предложеном математичком моделу производно време представља збир (i) главног времена обраде, (ii) времена транспорта, и помоћних времена неопходних за (iii) измену алата и (iv) измену оријентација алата. Производни трошкови, као други критеријум који је коришћен при оптимизацији технолошких процеса и квантитативног мерења њиховог квалитета, обухватају (i) трошкове машина, (ii) трошкове алата, (iii) трошкове промене машине, (iv) трошкове промене оријентације алата и (v) трошкове измене алата. Математички модел за терминирање флексибилних технолошких процеса обухвата три функције циља: прва функција циља (*object1)* се односи на минимизацију укупног времена обраде свих делова чије се терминирање врши, друга (*object2)* се односи на максимизацију уравнотеженог искоришћења машина алатки, док се трећа (*object3)* односи на минимизацију средњег времена транспортних токова материјала.

Шесто поглавље докторске дисертације је посвећено биолошки инспирисаним техникама вештачке интелигенције у оптимизацији флексибилних технолошких процеса. У том смислу, у дисертацији је приказано шест оригинално развијених алгоритама оптимизације и то генетички алгоритам, алгоритам симулираног каљења, хибридни алгоритам на бази генетичког алгоритма и алгоритма симулираног каљења, модификовани алгоритам базиран на интелигенцији роја честица, алгоритам базиран на интелигенцији роја честица и теорији хаоса и алгоритам инспирисан мраволовцима. За сваку од шест предложених техника вештачке интелигенције приказана је основна идеја оригиналног алгоритма, имплементација за проблем пројектовања технолошких процеса, као и кораци њихове примене.

Седмо поглавље разматра биолошки инспирисане технике вештачке интелигенције у интегрисаном пројектовању флексибилних технолошких процеса и планова терминирања, узимајући у обзир роботизован терминиран унутрашњи транспорт. Поред модела за интегрисано кодирање и репрезентацију, приказани су и кораци имплементације за сваки од три новоразвијена алгоритма (генетички алгоритам, алгоритам симулираног каљења и алгоритам базиран на интелигенцији роја честица и теорији хаоса).

Осмо поглавље садржи експерименталну верификацију предложених алгоритама. У том смислу, извршено је шест експеримената, при чему су прва три експеримента везана за пројектовање технолошких процеса, док су последња три експеримента везана за терминирање флексибилних технолошких процеса и транспортних средстава у оквиру изабраног интелигентног технолошког система. Описано је технолошко окружење чији је диспозициони план искоришћен за формирање лабораторијског модела. Дате су и информације о основној конфигурацији мобилног робота *Khepera II*, као и *LEGO Mindstorms NXT* мобилног робота, који су као транспортна средства коришћени за експерименталну верификацију планова терминирања. На почетку сваког експеримента је извршено подешавање параметара алгоритама, док је на крају сваког експеримента дата дискусија и анализа добијених резултата, уз наглашавање основних предности и недостатака развијених алгоритама. Развијени алгоритми за пројектовање технолошких процеса су тестирани у *MATLAB*® програмском окружењу, уз сопствени развој одговарајућег оригиналног софтверског кода и применом како на реалне репрезентативне делове, тако и на „*benchmark“* делове из референтне литературе. Експериментални резултати указују на то да у директном поређењу предложених развијених алгоритама, алгоритам базиран на интелигенцији роја честица и теорији хаоса и алгоритам

инспирисан мраволовцима, остварују боље резултате оптималних/приближно оптималних технолошких процеса, са аспекта оба оптимизациона критеријума (укупно производно време и укупни трошкови). Остварени оптимални резултати су бољи у погледу како квалитета оптималног решења, тако и у погледу брзине конвергенције алгоритма. Резултати остварени применом нових биолошки инспирисаних алгоритама оптимизације указују на то да постоји евидентан допринос постојећем стању у области пројектовања технолошких процеса, који се огледа како кроз смањење укупног производног времена, тако и кроз смањење укупних трошкова производње. Као и у случају пројектовања технолошких процеса, развијени алгоритми за проблем терминирања технолошких процеса су тестирани у *MATLAB*® програмском окружењу развојем одговарајућег оригиналног софтверског кода. У циљу тестирања перформанси предложених алгоритама, коришћени су и реални репрезентативни делови и референтни „*benchmark“* примери из литературе са широким спектром типова и нивоа флексибилности. Резултати остварени применом нових биолошки инспирисаних методологија указују на то да постоји евидентан допринос постојећем стању у области интегрисаног пројектовања наведених производних функција, који се огледа кроз смањење укупног времена обраде свих делова чије се терминирање врши, кроз оптимално искоришћење производних ресурса, као и кроз смањење укупних транспортних токова материјала.

У закључку (девето поглавље) су наглашене предности примене биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције у поступку пројектовања технолошких процеса, интегрисаног пројектовања технолошких процеса и планова терминирања и терминирања транспортних средстава, као основних функција ИТС-а. Такође, указано је и на могуће правце будућих истраживања у домену поменутих функција ИТС-а.

На крају је наведена обимна литература која је коришћена током спроведених истраживања и рада на реализацији докторске дисертације. Прилог дисертације садржи податке о репрезентативним „*benchmark*“ деловима различитог нивоа и типа флексибилности и мрежама њихових алтернативних технолошких процеса обраде делова, са алтернативним машинама алаткама, алатима и временима обраде на алтернативним машинама алаткама.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидаткиње Милице М. Петровић, маст.инж.маш., под називом „ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА” представља савремен и оригиналан приступ, као и евидентан научни допринос разматраном проблему пројектовања најзначајнијих функција интелигентних технолошких система на бази биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције. Докторска дисертација је урађена у оквиру истраживања на пројекту технолошког развоја, а односи се на домен пројектовања и терминирања технолошких процеса обраде делова, као и на могућност имплементације транспортних средстава - интелигентних мобилних робота за потребе унутрашњег транспорта сировина, полуфабриката, материјала и готових делова, што представља изразито комплексан научно-инжењерски истраживачки циљ. Спроведена истраживања у оквиру предметне докторске дисертације подразумевају развој *оригиналних алгоритама оптимизације*, уз примену напредних концепата машинског учења и *soft computing* техника вештачке интелигенције. Предметна докторска дисертација обухвата развој и експерименталну верификацију **6 оригиналних алгоритама** за пројектовање оптималних технолошких процеса. Такође, истраживања у оквиру докторске дисертација обухватају и област интегрисаног пројектовања и терминирања технолошких процеса, што је резултирало развојем и експерименталном верификацијом **3 оригинална биолошки инспирисана алгоритма**. Све претходно наведено недвосмислено указује да кандидаткиња поседује изразиту способност за даљи веома успешан научноистраживачки рад. Резултати остварени у оквиру свих спроведених истраживања потврђују актуелност и значај докторске дисертације за научно-стручну јавност, како у Србији тако и у свету. Оригиналност постигнутих резултата је верификована публиковањем радова у врхунским међународним часописима и на међународним научним скуповима, као и цитатима у референтним часописима у свету.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Због изразито мултидисциплинарног карактера теме докторске дисертације, коришћена је обимна референтна литература из области концепцијског пројектовања интелигентних технолошких система, пројектовања и оптимизације технолошких процеса, терминирања оптималних технолошких процеса, интегрисаног пројектовања и терминирања технолошких процеса, као и терминирања транспортних средстава у оквиру интелигентних технолошких система. У литератури, која је наведена у оквиру десетог поглавља докторске дисертације (150 референци), преовлађују истраживачки резултати новијег датума објављени у врхунским међународним часописима, а посебно се истичу радови у часопису *CIRP Annals* који издаје водећа међународна академија у области производног инжењерства – CIRP. Такође, кандидаткиња се позива и на анализе, резултате и закључке објављене у 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 представљају извор информација, знања и полазних основа за генерисање прегледа стања у предметним областима истраживања, као и критичку анализу постојећих метода у домену пројектовања интелигентних технолошких система. Коришћене референце представљају избор савремене и актуелне литературе на енглеском и српском 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 току израде докторске дисертације примењене су савремене научно-истраживачке методе при теоријском и експерименталном истраживању у домену пројектовања и оптимизације функција интелигентних технолошких система. Развијени оригинални алгоритми базирани су на: методама систематизације и класификације захваљујући којима су, на основу прегледа литературе и анализе у њој приказаних резултата, утврђени правци истраживања у докторској дисертацији; методама конкретизације и генерализације у фази концепцијског пројектовања; методама математичког моделирања укупног технолошког времена и укупних трошкова производње; метахеуристичким методама оптимизације технолошких процеса, генерисаних планова њиховог терминирања на којима се заснива терминирање мобилног робота у унутрашњем транспорту материјала интелигентног технолошког система; методама управљања и програмирања мобилног робота у домену локализације (одређивање позиције и оријентације) у лабораторијском моделу технолошког окружења; методама софтверске и хардверске имплементације развијених алгоритама у циљу повећања ефикасности унутрашњег транспорта материјала у технолошком систему; експерименталној методи за верификацију предложених хипотеза на прототипском лабораторијском моделу интелигентног технолошког система. Адекватност примењених метода оправдана је добијањем оптималних резултата који су значајно побољшани у поређењу са резултатима наведеним у референтној литератури.

3.4. Применљивост остварених резултата

С обзиром на савременост и актуелност теме докторске дисертације, истраживања спроведена током израде и приказани остварени резултати представљају добру основу за даљи научни и стручни рад. Имајући у виду да у расположивој литератури не постоји решење проблема пројектовања оптималних технолошких процеса изразите флексибилности (са пет типова флексибилности), као ни решење проблема терминирања оваквих технолошких процеса обраде, очекује се значајна примена резултата и оригиналних метода представљених у докторској дисертацији. Поред лабораторијске експерименталне верификације на репрезентативном моделу производно-монтажног погона предузећа „Монтпројект“, развијене методе ће бити тестиране и у напредним технолошким окружењима изабраних компанија металопрерађивачке индустрије Србије. Применом резултата добијених на бази биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције, који су верификовани у дисертацији, знатно се унапређује процес интегрисаног пројектовања функција интелигентних технолошких система и

доприноси постизању следећих техноекономских ефеката: избор оптималних ресурса и одређивање оптималног броја операција обраде дела, смањење времена и трошкова обраде појединачних делова, смањење укупног времена обраде свих делова чије се терминирање врши, оптимално искоришћење производних ресурса, као и смањење удела времена неопходног за остваривање укупних транспортних токова материјала. Осим тога, експериментално верификовани модели могу послужити за даља истраживања у циљу развоја унапређених алгоритама за неке од осталих функција интелигентних технолошких система. Поред евидентне научне вредности, резултати докторске дисертације имају и широку практичну примену, што је потврђено и кроз **пет реализованих техничких решења**.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

Кандидаткиња је током израде ове докторске дисертације показала да је у стању да самостално решава комплексне проблеме и да успешно влада савременим научним сазнањима и методама, што представља основу за даљи веома успешан научноистраживачки рад. То се посебно огледа кроз оригиналност у научном приступу комплексним проблемима у пројектовању интелигентних технолошких система, а верификовано је и изузетним научним референцама и цитираношћу.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси, настали као резултат истраживања у оквиру предметне докторске дисертације, огледају се кроз развој и експерименталну верификацију:

- Оригиналне методологије за пројектовање интелигентних технолошких система, базиране на примени принципа вештачке интелигенције, аксиоматских метода, ТРИЗ и мултиагентне методологије, у циљу имплементације и интеграције интелигентних агената (мисли се на агенте за машине алатке, агенте за делове, агенте за мобилне роботе, агенте за оптимизацију, агенте за машинско учење, и др.), који могу да доносе аутономне одлуке у условима наглашене неодређености унутар технолошког система;
- Методе за планирање и оптимизацију технолошких процеса коришћењем биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције;
- Методе за генерисање и оптимизацију планова терминирања машина алатки у интелигентном технолошком систему сходно усвојеним функцијама циља;
- Методе оптималног терминирања интелигентног мобилног робота намењеног роботизованом унутрашњем транспорту материјала, припремака, обрадака и готових делова у оквиру лабораторијског модела интелигентног технолошког система;
- Методе за интегрисано оптимално планирање и терминирање технолошких процеса, као и терминирање транспортних средстава у оквиру унутрашњег транспорта материјала интелигентног технолошког система.

У том смислу, развијено је следећих 6 оригиналних алгоритама за пројектовање оптималних технолошких процеса:

- *Генетички алгоритам – GA* (потпоглавље 6.1). У развоју овог алгоритма предложена је методологија кодирања технолошких процеса са пет типова флексибилности, и то у хромозоме генетичког алгоритма. У циљу добијања оптималног решења, најпре је извршен одабир хромозома на бази рулет селекције, где је вероватноћа селекције пропорционална функцији циља. Након корака селекције, модификација хромозома кроз генерације се врши применом оператора укрштања и четири различита оператора мутације, чиме је постигнута диверзификација простора могућих решења.

- *Алгоритам симулираног каљења – SA алгоритам* (потпоглавље 6.2). Алгоритам почива на аналогији са процесом каљења метала па се модификација решења кроз итерације остварује пажљивим одабиром температуре хлађења. У том смислу, извршена је серија експеримената у циљу оптималног подешавања промене температуре хлађења тако да на самом почетку процеса оптимизације има довољно велику вредност и тиме омогући избегавање заробљавања у локалном оптимуму, а да на крају процеса има вредност која обезбеђује стабилизацију решења у глобалном оптимуму. Иако су за неке проблеме добијена решења оптималних/приближно оптималних технолошких процеса, главни недостатак ове методе је пребрза конвергенција алгоритма.

- *Хибридни алгоритам базиран на генетичком алгоритму и алгоритму симулираног каљења - хибридни GA-SA алгоритам* (потпоглавље 6.3). Развијени хибридни алгоритам базиран је на интеграцији генетичког алгоритма и алгоритма симулираног каљења и обухвата две фазе у решавању разматраног комбинаторно оптимизационог проблема. Прва фаза подразумева примену генетичких алгоритама у иницијалном глобалном генерисању „добрих“ технолошких процеса. На бази одабраних технолошких процеса, у другој фази хибридног метахеуристичког алгоритма примењен је алгоритам симулираног каљења, који се користи за локално претраживање „добрих“ технолошких процеса и добијање оптималних и/или приближно оптималних флексибилних технолошких процеса обраде дела. Резултати остварени применом овог алгоритма указују на то да постоји евидентан допринос постојећем стању у области оптимизације технолошких процеса, који се огледа кроз ефикасније генерисање оптималног и/или приближно оптималног технолошког процеса обраде дела, узимајући у обзир алтернативне машине алатке, алтернативне алате и алтернативне оријентације алата за сваку од операција.

- *Модификовани алгоритам базиран на интелигенцији роја честица – mPSO алгоритам* (потпоглавље 6.4). Предложени нови приступ у оптимизацији комбинаторно оптимизационог проблема пројектовања технолошких процеса базиран је на модификованом *PSO* алгоритму. Како је традиционални *PSO* алгоритам оригинално примењен за оптимизацију континуалних проблема, у циљу примене овог алгоритма на проблеме дискретне оптимизације (какав је проблем пројектовања технолошких процеса), развијена је методологија за кодирање технолошких процеса у јединке *PSO* алгоритма. Такође, у циљу ефикасније претраге простора могућих решења, који се експоненцијално увећава са повећавањем алтернативних ресурса, оператори генетичких алгоритама (укрштање, мутација и замена места) су развијени и инкорпорирани у *PSO* алгоритам. Експериментална истраживања и упоредни резултати приказани у експерименту 1, а публиковани у часопису *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, показују да највеће побољшање најбољег решења технолошког процеса износи 45.45% (експеримент 1.1), док највеће побољшање средње вредности износи 44.63% (експеримент 1.2).

- *Интеграција алгоритма базираног на интелигенцији роја честица и теорије хаоса - cPSO алгоритам* (потпоглавље 6.5). Кључни проблем претходно развијених алгоритама јесте њихова брза конвергенција ка локално оптималном решењу. Један од начина превазилажења проблема конвергенције алгоритма у раним фазама оптимизације јесте и примена мапа хаоса. У том смислу, развијени алгоритам *cPSO* се темељи на имплементацији теорије хаоса у математички модел оригиналног традиционалног *PSO* алгоритма. Овом имплементацијом се остварује предност у односу на друге приступе, са аспекта проширења простора могућих решења и избегавања „заробљавања“ алгоритма у локалном оптимуму. Експериментална истраживања спроведена у експерименту 2, а верификована кроз публиковање у часопису *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, показују да је применом хаотичних мапа најбоље решење технолошког процеса побољшано за 53.85% (експеримент 2.1), док највеће побољшање средње вредности функције циља у експерименту 2.3 износи 63.04%.

- *Алгоритам инспирисан мраволовцима - ALO алгоритам* (потпоглавље 6.6). Основна разлика између *cPSO* и *ALO* алгоритма огледа се у методологији за побољшање иницијалног решења кроз итеративни поступак. Док се код *cPSO* алгоритма нови технолошки процеси генеришу на основу брзина и положаја јединки у јату, код *ALO* алгоритма се модификација врши на основу положаја мраволоваца при постављању замки и хватању мрава.

Спроведена истраживања у оквиру предметне докторске дисертације обухватају и област интегрисаног пројектовања технолошких процеса и њихових планова терминирања, са роботизованим унутрашњим транспортом. У том смислу, у овој дисертацији су развијена следећа три оригинална алгоритама:

- *Генетички алгоритам – GA* (потпоглавље 7.2). При кодирању планова терминирања свака јединка је представљена као хромозом, који се састоји од главног и помоћног подстринга. Главним подстрингом су представљени планови терминирања за пет типова флексибилности, док су помоћним подстрингом представљени алтернативни технолошки процеси. Применом оператора укрштања и два оператора мутације остварује се проширивање простора могућих решења и добијање оптималног решења.

- *Алгоритам симулираног каљења – SA* (потпоглавље 7.3). Алгоритмом симулираног каљења *SA* се остварује локално претраживање приближно оптималних технолошких процеса. *И*ако је процес кодирања и иницијализације исти као код алгоритма *GA*, процес локалног претраживања је различит и одвија се сходно вероватноћи одабира оптималног решења, која зависи од температуре хлађења.

- *Интеграција алгоритма базираног на интелигенцији роја честица и теорије хаоса - cPSO алгоритам* (потпоглавље 7.4). Нови приступ у решавању интегрисаног пројектовања и терминирања технолошких процеса заснован је на интеграцији алгоритма базираног на интелигенцији роја честица и теорије хаоса. У првој фази биолошки инспирисаног *cPSO* алгоритма, генерисање оптималних технолошких процеса извршено је на следећи начин: развијена је процедура за кодирање/декодирање параметара технолошких процеса у јединке алгоритма; а потом даље, превазилажење недостатака везаних за брзу конвергенцију алгоритма ка локалном оптималном решењу у раним фазама оптимизације извршено је интеграцијом *PSO* алгоритма са хаосом. Имплементацијом десет хаотичних мапа у овај алгоритам и стохастичким генерисањем алтернативних ресурса (машине алатке, алати, оријентације алата) се постиже добијање већег простора алтернативних решења у свакој итерацији и могућност избегавања „заробљавања“ алгоритма у локалном оптимуму. Терминирање оптималних технолошких процеса извршено је на основу три критеријума, и то на основу кодираних планова терминирања. Реализована експериментална истраживања представљена у експерименту 4 показују да је имплементацијом хаотичних мапа у алгоритам роја честица најбоље решење плана терминирања побољшано за 5.31% (експеримент 4.1), док највеће побољшање средње вредности износи 11.72% (експеримент 4.1).

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне литературе и постављених циљева истраживања, као и сагледавања стања из области истраживања докторске дисертације, постигнути су оригинални и значајни резултати који имају и применљивост у инжењерској пракси. У оквиру истраживања спроведених у овој докторској дисертацији предложене су и развијене нове методе за решавање полазних проблема. Развијено је шест оригиналних алгоритама за пројектовање технолошких процеса и три оригинална алгоритама за интегрисано пројектовање флексибилних технолошких процеса и планова терминирања, са роботизованим унутрашњим транспортом материјала. Стога, ова докторска дисертација представља важан научноистраживачки допринос у области

пројектовања интелигентних технолошких система. Имајући у виду добијена оптимална решења, очекује се даља имплементација резултата дисертације и у будућим истраживањима.

4.3. Верификација научних доприноса

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

M21 Научни рад у врхунском међународном часопису (SCI-Web of Science®)

[1] Mitić,M., Vuković,N., Petrović,M., Miljković,Z., **Chaotic fruit fly optimization algorithm**, *Knowledge-Based Systems* (ISSN 0950-7051), Vol. 89, pp. 446-458, Elsevier BV, Netherlands, November 2015. (Online_first published on August 22, 2015 as DOI: 10.1016/j.knosys.2015.08.010);
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705115003147
(Science Citation Index-Web of Science® – IF = 2,947 (2014) → M21; извор KoBSON)

M22 Научни рад у истакнутом међународном часопису (SCI-Web of Science®)

[2] Petrović,M., Mitić,M., Vuković,N., Miljković,Z., **Chaotic particle swarm optimization algorithm for flexible process planning**, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Print ISSN 0268-3768), Article in Press, Springer-Verlag London Ltd. (Online ISSN 1433-3015_Available online: 19 November 2015_First™ Articles; DOI: 10.1007/s00170-015-7991-4);
http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-015-7991-4
(Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1.458 (2014) → M22; извор KoBSON)

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

[3] Miljković,Z., Petrović,M., **Application of modified multi-objective particle swarm optimisation algorithm for flexible process planning problem**, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* (Print ISSN: 0951-192X), Article in Press, Taylor & Francis Group, United Kingdom. (Online ISSN 1362-3052_Available online: 17 February 2016_First™ Articles; DOI: 10.1080/0951192X.2016.1145804);
http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0951192X.2016.1145804
(Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,012 (2014) → M23; извор KoBSON)

M24 Научни рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком

[4] Petrović,M., Miljković,Z., Babić,B., **Integration of Process Planning, Scheduling, and Mobile Robot Navigation Based on TRIZ and Multi-agent Methodology**, *FME Transactions* (ISSN 1451-2092), New Series, Vol. 41 No. 2, pp. 120-129, (SCOPUS → M24; извор KoBSON), University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, June 2013.

Овај рад, објављен у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком, цитиран је у **врхунском међународном часопису** (M21) са SCI листе:

Chang, Y. S., Chien, Y. H., Yu, K. C., Chu, Y. H., & Chen, M. Y. C. (2016). **Effect of TRIZ on the Creativity of Engineering Students**. *Thinking Skills and Creativity*, *19*, 112-122.

Такође, и у оквиру **прегледног рада** посвећеног пројектовању технолошких процеса, а објављеног у **истакнутом међународном часопису** (M22) са SCI листе:

Yusof, Y., & Latif, K. (2014). **Survey on Computer-aided Process Planning**. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *75*(1-4), 77-89.

Важан је и цитат у раду саопштеном на престижној **IEEE конференцији**:

Liu, C., Li, Y., Wang, H., & Shen, W. (2015, October). **Process Knowledge Representation Based on Dynamic Machining Features and Ontology for Complex Aircraft Structural Parts**. In *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 1335-1340). IEEE.

M52 Радови у часописима националног значаја

[5] Petrović,M., Petronijević,J., Mitić,M., Vuković,N., Miljković,Z., Babić,B., **The Ant Lion Optimization Algorithm for Integrated Process Planning and Scheduling,** *Applied Mechanics and Materials* (ISSN 1662-7482), Vol. 834, pp. 187-192 (DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.834.187), © 2016 Trans Tech Publications, Switzerland, Online 19th April 2016.

[6] Petronijević,J., Petrović,M., Vuković,N., Mitić,M., Babić,B., Miljković,Z., **Integrated Process Planning and Scheduling Using Multi-agent Methodology**, *Applied Mechanics and Materials* (ISSN 1662-7482), Vol. 834, pp. 193-198 (DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.834.193), © 2016 Trans Tech Publications, Switzerland, Online 19th April 2016.

[7] Petrović,M., Petronijević,J., Mitić,M., Vuković,N., Plemić, A., Miljković,Z., Babić,B., **The Ant Lion Optimization Algorithm for Flexible Process Planning**, *Journal of Production Engineering* (ISSN 1821-4932), Vol. 18, No. 2, pp. 65-68, University of Novi Sad – Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia, 2015, and in Proceedings of the 12th International Scientific Conference MMA 2015 - Advanced Production Technologies, pp. 125-128, Novi Sad, Serbia, 25-26 September, 2015.

[8] Petrović,M., Miljković,Z., Babić,B., **Veštačka inteligencija u koncepcijskom projektovanju inteligentnih tehnoloških sistema – pregled stanja u oblasti istraživanja**, Časopis TEHNIKA-Mašinstvo (ISSN 0040-2176), Vol.68 br.5, стр. 873-885, 2013.

[9] 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), UDK: 62(05)=862=20=30, Vol. 54 No. 3, pp. 205-219, Published by Croatian Union of Mechanical Engineers and Naval Architects, June 2012. http://hrcak.srce.hr/strojarstvo

Напомена: Часопис *Strojarstvo*: *Journal for Theory and Application in Mechanical Engineering* је у време прихватања рада био на SCI листи (**Science Citation Index-Web of Science®** – **IF** = **0,222 (2010)** → **M23**; извор **KoBSON**).

M33 Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини

[10] Petronijević,J., Petrović, M., Vuković,N., Mitić,M., Babić,B., Miljković,Z., **Multi-agent modeling for integrated process planning and scheduling,** Proceedings of the 12th International Scientific Conference MMA 2015 - Advanced Production Technologies, pp. 121-124, Novi Sad, Serbia, 25-26 September, 2015.

[11] Petrović,M., Mitić,M., Vuković,N., Petronijević,J., Miljković,Z., Babić,B., **Modified Chaotic Particle Swarm Optimization Algorithm for Flexible Process Planning**, The 8th International Working Conference ”Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches”, Published in Conference Proceedings (ISBN 978-86-7083-858-1), pp. 221-228, and in International Journal of *Advanced Quality* (ISSN 2217-8538), Vol. 43 No. 3, pp. 25-32, Belgrade, Serbia, 1st-5th June 2015.

[12] Vuković,N., Mitić,M., Petrović,M., Petronijević,J., Miljković,Z., **Experimental Evaluation of Growing and Pruning Hyper Basis Function Neural Networks Trained with Extended Information Filter**, Proceedings of the 5th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2015), pp. 89-94, Kopaonik, Serbia, 8-11 March, 2015.

[13] 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.

[14] Petrović,M., Miljković,Z., Vuković,N., Petronijević,J., Babić, B., **Integration of Process Planning and Scheduling using Modified Particle Swarm Optimization Algorithm**, Proceedings of the 4th International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2014), pp. 109-118, Thessaloniki, Greece, 1-3 October, 2014.

[15] Vuković,N., Miljković,Z., Mitić,M., Petrović,M., Mohamed A. Husen, **Neural extended Kalman filter for state estimation of Automated Guided Vehicle in manufacturing environment**, Proceedings of the 35th International Conference on Production Engineering, pp. 331-335, Kopaonik, Serbia, 25-28 September, 2013.

[16] Vuković,N., Miljković,Z., Mitić,M., Petrović,M., **Learning Motion Trajectories of Differential Drive Mobile Robot Using Gaussian Mixtures and Hidden Markov Model**, Proceedings of the Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, pp. 165-170, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June, 2013.

[17] Petrović,M., Miljković,Z., Babić,B., **Optimization of Operation Sequencing in CAPP Using Hybrid Genetic Algorithm and Simulated Annealing Approach**, Proceedings of the 11th International Scientific Conference MMA 2012 - Advanced Production Technologies, pp. 285-288, Novi Sad, Serbia, 20-21 September, 2012.

[18] 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, 28-30 September, 2011.

M63 Радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини

[19] Петровић,М., Митић,М., Вуковић,Н., Миљковић,З., **Оптимизација флексибилних технолошких процеса применом алгоритма базираног на интелигенцији роја и теорији хаоса**, 39. ЈУПИТЕР Конференција, 35. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова - CD, стр. 3.122-3.129, Београд, 28. октобар 2014.

[20] Петронијевић,Ј., Петровић,М., Бабић,Б., Миљковић,З., **Примена мултиагентних система и теоријеројева у оптимизацији флексибилних технолошких процеса**, 39. ЈУПИТЕР Конференција, 35. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова - CD, стр. 3.114-3.121, Београд, 28. октобар 2014.

[21] Бабић,Б., Миљковић,З., Бугарић,У., Бојовић,Б., Вуковић,Н., Митић,М., Петровић,М., **Примена интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснована на еколошким принципима - преглед резултата истраживања на пројекту ТР-35004**, 38. ЈУПИТЕР Конференција, Уводни рад, Зборник радова – CD, стр. УР.67-УР.75, Београд, 15-16. мај, 2012.

[22] Петровић,М., Миљковић,З., Бабић,Б., Човић,Н., **Вештачке неуронске мреже и аксиоматска теорија пројектовања у концепцијском пројектовању роботизованог унутрашњег транспорта**, 37. ЈУПИТЕР Конференција, 33. симпозијум „НУ-РОБОТИ-ФТС“, Зборник радова - CD, стр. 3.72-3.79, Београд, 10-11. мај, 2011.

M85 Техничка и развојна решења – алгоритми, методе и софтвери

[23] Петровић,М., Петронијевић, Ј., Митић,М., Вуковић,Н., Миљковић,З., Бабић,Б., **Интегрисано пројектовање и терминирање технолошких процеса применом интелигенције роја честица и теорије хаоса** (*нова метода*: се односи на решавање проблема генерисања

оптималних планова терминирања применом биолошки инспирисаног алгоритма на бази интелигенције роја честица (енгл. *PSO – Particle Swarm Optimization*) и теорије хаоса (енгл. *Chaos theory*). Ова метода је развијана у оквиру пројекта ТР-35004 МПНиТР Владе Републике Србије), 2015.

[24] Петронијевић,J., Петровић,М., Вуковић,Н., Митић,М., Бабић,Б., Миљковић,З., **Мултиагентни систем за динамичко интегрисано планирање и терминирање производње** (*нова метода*: се односи на домен динамичког интегрисаног планирања и терминирања производње применом мултиагентне методологије. Ова метода је развијана у оквиру пројекта ТР-35004 МПНиТР Владе Републике Србије), 2015.

[25] Петровић,М., Петронијевић,J., Вуковић,Н., Митић,М., Миљковић,З., Бабић,Б., **Интегрисано пројектовање и терминирање оптималних флексибилних технолошких процеса базирано на мултиагентним системима и техникама вештачке интелигенције** (*нова метода*: се односи на домен интегрисаног пројектовања и терминирања оптималних флексибилних технолошких процеса применом мултиагентних система и техника вештачке интелигенције, конкретно биолошки инспирисаног алгоритма на бази интелигенције роја честица и вештачких неуронских мрежа. Ова метода је развијана у оквиру пројекта ТР-35004 МПНиТР Владе Републике Србије), 2014.

[26] Митић,М., Вуковић,Н., Петровић,М., Петронијевић,J., Миљковић,З., Лазаревић,И., **Репродукција комплексних трајекторија мобилног робота на бази биолошки инспирисаних алгоритама** (*нова метода*: се односи на решавање комплексног проблема управљања интелигентног мобилног робота применом емпиријске управљачке теорије на бази биолошки инспирисаних алгоритама оптимизације и машинског учења демонстрацијом, и то тако да се управљачке команде мобилног робота користе за репродукцију више трајекторија жељеног облика у оквиру модула за демонстрацију, док се у модулу машинског учења врши имплементација метода оптимизације у циљу одређивања оптималне трајекторија робота. Ова метода је развијана у оквиру пројекта ТР-35004 МПНиТР Владе Републике Србије), 2014.

[27] Петровић,М., Миљковић,З., Вуковић,Н., Бабић,Б., Петронијевић,J., **Оптимизација флексибилних технолошких процеса применом хибридног метахеуристичког алгоритма** (*нова метода*: која решава проблем оптимизације флексибилних технолошких процеса обраде дела, узимајући у обзир алтернативне машине алатке и алате за сваку од операција, развијана је у пројекту ТР-35004 МПНиТР Владе Републике Србије), 2013.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом „ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА“ кандидаткиње Милице М. Петровић, маст.инж.маш., представља савремен, утемељен и оригиналан научни допринос пројектовању функција интелигентних технолошких система на бази биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције. На основу остварених резултата који су приказани у докторској дисертацији и сходно чињеници да је анализирана проблематика мултидисциплинарна и веома актуелна у научној јавности, констатује се да је кандидаткиња Милица М. Петровић, маст.инж.маш., завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима, уз нагласак на то да су успешно доказане хипотезе да је: (i) могуће развити оригиналну методологију за пројектовање интелигентних технолошких система на бази аксиоматске теорије пројектовања, мултиагентне методологије и биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције, (ii) применом *soft computing* техника вештачке интелигенције могуће генерисати оптималан технолошки процес обраде дела сходно усвојеном критеријуму оптимизације, узимајући у обзир алтернативне машине алатке, алтернативне алате и алтернативне помоћне приборе, (iii) на основу оптималних технолошких процеса обраде дела могуће ефикасно одредити планове терминирања сходно усвојеном критеријуму перформанси, (iv) применом метахеуристичких метода могуће развити систем интегрисаног пројектовања и терминирања технолошких процеса, обезбеђујући при томе смањење производних трошкова,

боље искоришћење производних ресурса и побољшање перформанси интелигентних технолошких система, и (v) за развијен интегрисани модел симултаног пројектовања и терминирања технолошких процеса могуће развити ефикасне алгоритме терминирања транспортних средстава, као и интелигентног управљања мобилног робота при извршавању транспортних задатака, сходно пројектованим технолошким процесима и генерисаним оптималним плановима терминирања, са циљем обезбеђивања минималног производног времена.

На основу прегледа и оцене докторске дисертације кандидаткиње

Милице М. Петровић, маст.инж.маш.

са темом

Вештачка интелигенција у пројектовању интелигентних технолошких система,

Комисија за оцену и одбрану закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима и позитивној пракси у научноистраживачком 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 кандидаткиња позове на јавну одбрану.

С поштовањем,

Чланови Комисије:

У Београду, 11.04.2016. године

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

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

Др Милош Главоњић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Милан Зељковић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду - Факултет техничких наука

Др Миодраг Манић, редовни професор
Универзитет у Нишу - Машински факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:764/5
Датум: 21.04.2016. године
Београд, Краљице Марије бр. 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, Наставно-научно веће на седници одржаној 21.04.2016. године, донело је

О Д Л У К У

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ИНТЕЛИГЕНТНИХ ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА**“ студента **МИЛИЦЕ ПЕТРОВИЋ**, маст. инж. маш.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-3382/2-13, од 08.07.2013. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

[1] Mitić,M., Vuković,N., Petrović,M., Miljković,Z., **Chaotic fruit fly optimization algorithm**, *Knowledge-Based Systems* (ISSN 0950-7051), Vol. 89, pp. 446-458, Elsevier BV, Netherlands, November 2015. (Online_first published on August 22, 2015 as DOI: 10.1016/j.knosys.2015.08.010);
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705115003147
(Science Citation Index-Web of Science® – IF = 2,947 (2014) → M21; извор KoBSON)

[2] Petrović,M., Mitić,M., Vuković,N., Miljković,Z., **Chaotic particle swarm optimization algorithm for flexible process planning**, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Print ISSN 0268-3768), Article in Press, Springer-Verlag London Ltd. (Online ISSN 1433-3015_Available online: 19 November 2015_First™ Articles; DOI: 10.1007/s00170-015-7991-4);
http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-015-7991-4
(Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1.458 (2014) → M22; извор KoBSON)

[3] Miljković,Z., Petrović,M., **Application of modified multi-objective particle swarm optimisation algorithm for flexible process planning problem**, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* (Print ISSN: 0951-192X), Article in Press, Taylor & Francis Group, United Kingdom. (Online ISSN 1362-3052_Available online: 17 February 2016_First™ Articles; DOI: 10.1080/0951192X.2016.1145804);
http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0951192X.2016.1145804
(Science Citation Index-Web of Science® – IF = 1,012 (2014) → M23; извор KoBSON)

[4] Petrović,M., Miljković,Z., Babić,B., **Integration of Process Planning, Scheduling, and Mobile Robot Navigation Based on TRIZ and Multi-agent Methodology**, *FME Transactions* (ISSN 1451-2092), New Series, Vol. 41 No. 2, pp. 120-129, (SCOPUS → M24; извор KoBSON), University of Belgrade – Faculty of Mechanical Engineering, June 2013.

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за производно машинство и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић