

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)

718/5

(Број захтева)

23.08.2010. године

(Датум)

ЗАХТЕВ

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:

ЖИВАНЕ (БРАНИСЛАВ) ЈАКОВЉЕВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ЖИВАНА (БРАНИСЛАВ) ЈАКОВЉЕВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

УЧЕЊЕ И КОНТЕКСТНО ПРЕПОЗНАВАЊЕ ПРОЦЕСА СПАЈАЊА У РОБОТИЗОВАНОЈ МОНТАЖИ

Универзитет је дана 28.12.2005. год. својим актом под бр 123/8 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

УЧЕЊЕ И КОНТЕКСТНО ПРЕПОЗНАВАЊЕ ПРОЦЕСА СПАЈАЊА У РОБОТИЗОВАНОЈ МОНТАЖИ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ЖИВАНЕ (БРАНИСЛАВ) ЈАКОВЉЕВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 06.05.2010. године, одлуком факултета под бр. 718/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Петар Петровић</u>	Редовни проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
2. <u>Др Жарко Спасић</u>	Редовни проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
3. <u>Др Мирослав Пилиповић</u>	Редовни проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
4. <u>Др Драган Милутиновић</u>	Редовни проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
5. <u>Др Јанко Ходолич</u>	Редовни проф.	Производно машинство	ФТН Нови Сад

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 01.07.2010. 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: 718/5
Датум: 01.07.2010.
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Петар Петровић, ментор, проф.др Жарко Спасић, проф.др Мирослав Пилиповић, проф.др Драган Милутиновић и проф.др Јанко Ходолич, ФТН Нови Сад о оцени докторске дисертације „Учење и контекстно препознавање процеса спајања у роботизованој монтажи“ докторанта мр Живане Јаковљевић, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 01.07.2010. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„УЧЕЊЕ И КОНТЕКСТНО ПРЕПОЗНАВАЊЕ ПРОЦЕСА СПАЈАЊА У РОБОТИЗОВАНОЈ МОНТАЖИ“** докторанта **мр ЖИВАНЕ ЈАКОВЉЕВИЋ**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације пошто се докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану ставља на увид јавности у трајању од 30 дана и уколико не буде примедби на докторску дисертацију и извештај Комисије за оцену и одбрану, 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

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Живане Б. Јаковљевић

На основу одлуке Наставно-научног већа број 718/2 од 06.05.2010. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације мр Живане Б. Јаковљевић, дипл. инж. маш. под насловом “УЧЕЊЕ И КОНТЕКСТНО ПРЕПОЗНАВАЊЕ ПРОЦЕСА СПАЈАЊА У РОБОТИЗОВАНОЈ МОНТАЖИ”.

После детаљног проучавања приложене докторске дисертације подносимо следећи

**ИЗВЕШТАЈ
О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

1. УВОД

1.1. Наслов дисертације:

Докторска дисертација кандидата мр Живане Б. Јаковљевић, дипл. инж. маш., под насловом „Учење и контекстно препознавање процеса спајања у роботизованој монтажи“ садржи 132 стране са 64 слике и 11 табела. Дисертација има податке о ментору и комисији за оцену и одбрану, предговор, садржај, апстракт на српском и енглеском језику, номенклатуру, списак слика, списак табела, шест поглавља, литературу са списком од 148 референци, шест прилога са укупно 32 стране и 21 сликом и биографију кандидата.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације:

Кандидат мр Живана Јаковљевић дипл. маш. инж. је 20. септембра 2005. године Наставно-научном већу Машинског факултета поднела молбу број 1015/1 да јој се одобри израда докторске дисертације под насловом „Учење и контекстно препознавање процеса спајања у роботизованој монтажи“. На основу тога и на предлог Катедре за производно машинство од 15.12.2005. године именована је Комисија за припрему извештаја о испуњености услова кандидата и о научној заснованости теме. Та Комисија је установила да кандидат испуњава услове за израду дисертације и да је предложена тема научно заснована у домену актуелних тема у области производног машинства, па је сачинила извештај број 1015/2 и упутила га Наставно-научном већу 08. децембра 2005. године са предлогом да се мр Живани Јаковљевић одобри израда докторске дисертације под насловом „Учење и контекстно препознавање процеса спајања у роботизованој монтажи“. За ментора је предложен проф. др Петар Б. Петровић. Стручно веће за машинске, саобраћајне и организационе науке Универзитета у Београду дало је сагласност на научну заснованост теме и именовање ментора на својој седници одржаној 28.12.2005. године, на основу чега је Декан Машинског факултета одобрио израду ове докторске дисертације својом Одлуком број 136/1 од 29. децембра 2005. године. Ментор проф. Др Петар Б. Петровић је 08.04.2010. обавестио Катедру за производно машинство о завршетку докторске дисертације. На предлог Катедре

Научно наставно веће Машинског факултета је на седници одржаној 06.05.2010. донело је Одлуку бр. 718/2 о именовању Комисије за оцену и одбрану.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области: производно машинство

1.4. Биографски подаци о кандидату:

Живана Јаковљевић (девојачко презиме Пајић) је рођена 27.11.1975. године у Чачку. Основну школу у Лучанима и гимназију у Пожеги је завршила са одличним успехом и за постигнуте резултате је награђена дипломама “Вук Караџић”.

Школске 1994/95. уписала је Машински факултет у Београду, где је и дипломирала на Катедри за производно машинство 14.09.1999, са просечном оценом 9,16 и оценом 10 на дипломском раду из предмета “Машине алатке”, ментор проф. др Милош Главоњић. Током студија је више пута награђивана наградама за најбоље студенте поводом Дана Факултета. Била је стипендиста Фонда за младе таленте Републике Србије, Фонда Мадлена Јанковић и добитник Норвешке краљевске стипендије.

Од школске 1999/2000. похађала је постдипломске студије на смеру за производно машинство на Машинском факултету у Београду где је 01.10.2004. године одбранила магистарску тезу под називом: «Примена вејвлет трансформације у препознавању нестационарних феномена у области производних технологија», ментор проф. др Петар Б. Петровић.

01.01.2001. године је, након краћег периода проведеног у “Роимех” д.о.о, засновала радни однос на Машинском факултету у Београду као асистент-приправник на Катедри за производно машинство где је 17.06.2005. изабрана у звање асистента. Учествовала је у извођењу вежби из предмета: Пројектовање обрадних система, Кибернетика, Управљање квалитетом производа, Теорија процеса обраде, Технологија машиноградње, Машине алатке, Технологија монтаже, Мехатронски системи и Производне технологије и метрологија.

Поседује активно знање енглеског, пасивно француског, и основно немачког језика. Удата је и има ћерку Ђурђу.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Структура и садржај дисертације:

1. Увод (14 стр.)
2. Процес спајања у роботизованој монтажи (29 стр.)
3. Препознавање облика (43 стр.)
4. Машина за препознавање контактних стања (23 стр.)
5. Експериментална верификација (9 стр.)
6. Закључак (4 стр.)

У тексту је наведено 11 табела и 64 слике.

У прилогу обима 32 странице се наводе следећи садржаји:

- A. Фази IZODATA алгоритам кластеровања (2 стр.)
- B. Ограничење ризика (2 стр.)
- C. Програм за СМО (9 стр.)
- D. Уклањање шума из сигнала примено DWT (4 стр.)
- E. Програми за генерисање облика у реалном времену (5 стр.)
- F. Експериментални резултати (10 стр.)

Прилози садрже укупно 32 странице и 21 слику

Општи научни циљ тезе је прилог развоју новог генеричког знања неопходног за изградњу практично употребљивог концепта интелигентних система за монтажу, применљивих у условима високо варијантне малосеријске производње производа мале и средње величине.

Посебан научни циљ тезе је развој генеричког знања неопходног за изградњу управљачких система индустријских робота нове генерације, који ће омогућити њихово аутономно прилагођавање наглим променама радног окружења у контексту извршавања комплексних задатака спајања делова у оквиру високоваријантне малосеријске монтаже производа мале и средње величине.

Основне хипотезе од којих се полази:

Прва хипотеза:

Вектор силе спајања носи довољан информациони садржај за робусно препознавање контактних стања у спајању делова стабилне геометрије у реалном времену

Друга хипотеза:

Општа теорија математичког препознавања облика је довољан формални оквир за робусно препознавање контактних стања у спајању делова у реалном времену

Трећа хипотеза:

Контекстна анализа еволуције облика у времену је нужна за робусно препознавање непредвиђених и недопустивих ситуација у процесу спајања комплексних делова

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља:

Резултати истраживања спроведених у оквиру ове дисертације приказани су у шест поглавља.

У првом поглављу се дају основне напомене везане за разматрани проблем, врши преглед до сада спроведених истраживања у области учења и препознавања процеса спајања, наводе циљеви истраживања, методологија истраживања и даје преглед текста дисертације.

У другом поглављу се разматра процес спајања у роботизованој монтажи. При том се, имајући у виду тренутно стање и обим до сада спроведених истраживања, разматрање ограничава на фина кретања која подразумевају кретање делова у додиру. Идентификују се извори неодређености у процесу спајања и као одговор на њих дефинише се задатак попустљивог кретања робота који за циљ има толеранцију манипулационог механизма на грешку. Полазећи од геометрије и топологије делова у додиру дефинишу се контактна стања и контактна ситуација. Идентификују се елементи и структура активног система за попустљиво кретање. Разматра се модел процеса спајања као значајан елемент овог система. Предлаже се општа методологија за моделирање контекста појаве контактних стања заснована на теорији аутомата. На примеру цилиндричног спајања се идентификују могућа контактна стања и контексти у којима се она могу појавити. Разматра се општи динамички модел процеса спајања и ставља се акценат на феномене трења и еластичних деформација. Као пример, даје се квазистатички модел цилиндричног спајања.

У трећем поглављу се излажу формалне основе за синтезу класификатора за препознавање контактних стања. Разматра се математичко препознавање облика. Даје се општа структура машине за препознавање облика као и структура његових елемената - преводиоца и класификатора. Врши се преглед метода за класификацију са надзором и без надзора (кластеровање) и из великог броја метода издвајају се машине са носећим векторима (SVM - Support Vector Machines) које се посебно разматрају. SVM су метода класификације која има добра својства генерализације што је изузетно значајно у препознавању процеса спајања које се врши у систему пуном неодређености.

Поред тога битна карактеристика је и њихова једноставна имплементацији у реалном времену након процеса обучавања. Значајно је рећи да се променом одређених параметара (функције језгра) SVM могу изједначити са нпр. полиномалном машином за учење, двослојним неуронским мрежама итд. - једним математички формалним алатом обухваћен је велики број класификатора познатих под различитим именима и са различитим карактеристикама, а уједно се може креирати и практично бесконачан број нових класификатора. Поред математичких основа SVM у трећем поглављу се излаже и алгоритам за њихово обучавање - секвенцијална минимална оптимизација. Имајући у виду да су током процеса спајања у роботизованој монтажи присутне значајне неодређености на крају трећег поглавља се посебно разматрају технике за рад са нејасним и непрецизним подацима засноване на SVM (кластеровање помоћу SVM, фази SVM, грубо кластеровање помоћу SVM...). При том се посебан акценат ставља на методе за екстракцију фази правила из SVM.

На основу опште структуре машине за препознавање облика дате у трећем поглављу, у четвртном поглављу се поставља општа архитектура машине за on-line препознавање контактних стања у реалном времену. Улаз у ову машину је шестокомпонентни вектор силе који се преузима из процеса спајања. Обучавање машине - екстракција и одабир обележја као и одређивање граница између класа се врши са надзором off-line и то на основу механичког модела процеса. Ова чињеница дату методологију чини робусном када је у питању измена параметара процеса у односу на параметре експеримената при евентуалном експерименталном обучавању машине. За уклањање шума из сигнала силе користи се вејвлет трансформација, пре свега због њене фазне коректности и применљивости у реалном времену. Способност ове трансформације да из сигнала издвоји полиномалне компоненте у реалном времену користи се и за екстракцију обележја. Приликом екстракције обележја тенденција је да она буду независна од променљивих геометријских и динамичких параметара (димензија делова, коефицијента трења, крутости система...), већ да пре свега буду дефинисана топологијом контактних стања. Ово води ка универзалности развијене машине за разматрану класу спајања. Off-line обучавање машине се врши помоћу машина са носећим векторима, а из добијених граница између класа се екстрахују фази правила - оне се фазификују. Коначно се добија робусна фази машина за закључивање која на основу улазног вектора генерализане силе спајања закључује у ком контактном стању се процес спајања налази. Синтеза креиране машине се врши на примеру цилиндричног спајања делова.

У циљу провере развијених теоретских модела и тестирања полазних хипотеза у реалним условима, у петом поглављу је спроведена експериментална верификација аналитички дефинисаних концепата и њихова потврда у лабораторијским истраживањима.

У шестом, завршном поглављу се дају закључне напомене и смернице за даља истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај:

Савремени трендови у развоју производних технологија настали под утицајем тржишта и интензивног раста у домену информационих технологија, доводе до постепене трансформације на концептуалном нивоу, где се концепт масовне производње трансформише у нови концепт масовне варијантности или еквивалентно, масовне персонализације производа. Промене ове врсте из основа мењају производне технологије, тако да: (1) производни систем мора да буде способан да се брзо

прилагоди наглим променама производних задатака на његовом улазу (екстремно мале серије, као и појединачна производња), укључујући и реаговање у реалном времену на поремећаје разних врста; (2) да поседује својства реконфигурације на свим нивоима, (3) да поседује својства комплексне информационе интеграције својих подструктура и (4) да нужно мора да поседује способност високе аутономности и способност учења кроз генерализацију понашања, фузије сензорских информација и уграђених механизма за пренос знања и вештина са човека на машински систем. Овакав производни систем по својим својствима флексибилности, односно, способности прилагођавања променама (планираним и непланираним) мора да се приближи и изједначи својствима мануелних система, заснованих на директном укључивању човека у производни процес, било као директног извршиоца (монтажа, на пример) или као дела аутоматског производног система задуженог за вођење производног процеса на највишем нивоу. Овакве производне технологије као своје основно обележје имају интелигенцију, и зато је концепт производње масовно варијантних производа у суштини концепт интелигентних производних система, а његово практично остварење је у највећој мери условљено мером којом је интелигенција уграђена у производни систем у целини и/или његове компоненте.

Подизање нивоа атономности кроз примену концепта вештачке интелигенције је је један од кључних истраживачких задатака у домену технологије монтаже. Технологија монтаже, а посебно технологија роботизоване монтаже и технологија роботизоване демонтаже у новије време, која се развија у контексту масовно персонализоване производње и интелигентних приступа концепту одрживог развоја, је суштински зависна од степена аутономности манипулационог робота и пратеће опреме. Развој технологије монтаже је зато најуже повезан са напретком у развоју и имплементацији метода вештачке интелигенције, и у том контексту систематске изградње нових теоретских основа за пројектовање роботских система за монтажу/демонтажу.

Ова докторска дисертација представља евидентан помак у области технологије монтаже кроз увођење и оригиналног приступа у примени концепта вештачке интелигенције, заснованог на успостављању јасне формалне спреге између теоретски изведеног апроксимативног модела процеса спајања и препознавања реалних контактних ситуација екстракцијом информационог садржаја из вектора силе спајања, генерисаног шестокомпонентниом сензором силе везаним за базу радног стола. Приступ који је изложен у оквиру ове дисертације уноси оригиналне идеје генеричке природе које поседују потенцијал иницирања новог циклуса теоретских и практичних доприноса овој, за домен производних технологија, изузетно значајној области. Детаљи у прилог оваквој тврдњи детаљно се образлажу у оквиру тачке 4.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу:

Списак литературе коришћене у раду је дат у посебном поглављу. Прегледом листе коришћене литературе може се закључити да је кандидат располагао већином доступне референтне литературе и да ју је проучио у току израде дисертације. Дисертација је рађена упоредо са порастом броја објављених радова у области вештачке интелигенције, па је кандидат уложио велики труд у систематском праћењу и анализи расположивих метода, са циљем да понуди свој допринос у развоју методе робусног препознавања динамичких феномена. Када су у питању литературни извори везани за процес спајања у роботизованој монтажи кандидат је показао висок ниво познавања доступних достигнућа објављених у релевантној стручној и научној литератури, и коректно је цитирао поједине резултате, тимове и појединачне ауторе.

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

У стварању генеричких знања у оквиру ове дисертације примењене су следеће истраживачке методе:

- Аналитичке методе статистике вишег реда у оквиру математичког препознавања облика помоћу машина са носећим векторима
- Аналитичке методе засноване на концепту фази скупова и из њих изведене фази логике и основа апроксимативног закључивања
- Аналитичке методе нумеричке обраде сигнала које омогућавају симултану анализу у фреквентном и временском домену сензорских сигнала изразито динамичке природе - дискретна вејвлет трансформација
- Општа математичка теорија аутомата и формалних граматика вештачких језика

У оквиру провере развијених теоријских модела и тестирања полазних хипотеза у реалним условима, примењене су савремене експерименталне методе и изграђена специјализована роботизована инсталација, опремљена потребним сензорским и аквизиционим системом за рад у лабораторијским условима.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата:

Практична применљивост остварених резултата показана је кроз екстензива експериментална истраживања и провере. За ове потребе кандидат је изградио наменску инсталацију базирану на роботу антропоморфне конфигурације, наменском сензорском и аквизиционом систему и обимном софтверском апарату коришћеном за обраду сензорских информација.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад;

Чланови комисије сматрају да је кандидат показао да има смисао и знања да самостално препозна и систематски решава кључне проблеме из домена производних технологија, примењујући савремене научне методе теоријског и експерименталног карактера.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса:

У оквиру ове докторске дисертације понуђен је нови приступ увођења садржаја вештачке интелигенције у контекст управљања процеса спајања препознавањем реалних контактних ситуација, екстракцијом информационог садржаја из сензорских информација. Консеквентном применом теорије фази скупова и фази-инферентних метода заснованих на фази-класификацији, систематски је обухваћен проблем комплексности и непоузданости/некомплетности сензорских информација као и информација везаних за структуру и параметре објеката који се спајају, роботског система и окружења релевантног за процес спајања. Применом методе носећих вектора, остварена је оптимална партиција простора обележја, чиме је омогућена потребна робусност система за препознавање контактних стања, као кључне информације, неопходне за стабилно и конвергентно вођење процеса спајања у простору стања. Допунски елеменат робусности остварен је кроз анализу контекста текућег стања система. Анализом контекста, осматрање процеса спајања се из стационарног преводи у динамички домен, чиме се драстично повећава робусност функције одлучивања предложеног система управљања процесом спајања. Димензија контекста се уводи у функцију одлучивања коришћењем формалног оквира који нуди теорије аутомата, где се улазна азбука формира из скупа контактних стања, а доношење одлука остварује кроз препознавање речи и реченица језика изведеног из усвојене азбуке. Пошто је

укупан простор над којим је изграђен коначни аутомат за анализу и препознавање контекста фази простор, нужно и сам коначни аутомат је из категоријског преведен у фази домен, обезбеђујући на тај начин целовит, формално консеквентни оквир за рад са непотпуним и недовољно прецизним сензорским информацијама. Управо у овако изграђеној формалној основи, коју чини симбиоза фази класификације и теорија аутомата садржана је 1) оригиналност приступа и 2) суштински вредан допринос области која је била предмет истраживања. Овим продором, значајно су унапређени постојећи приступи коришћени за решавање ове класе задатака, који су без обзира на вредност примењеног механизма интелигентног извођења закључака били објективно недовољни, јер су у својој основи имали рад базиран на статичком праговању информација изведених из сензорских сигнала. У оквиру ове дисертације конципирана је, разрађена и примењена метода која је суштински динамичке природе и која не функционише на механизму закључивања праговањем. Практична употребљивост, а самим тим и одрживост понуђеног приступа, верификована је у оквиру технолошког задатка цилиндричног спајања еластично ослоњених крутих делова. За ове потребе изграђен је наменски роботски систем који се састојао из: 1) манипулационог робота антропоморфне конфигурације, 2) пасивног попустљивог система изотропних својстава за ослањање покретног објекта цилиндричног облика, 3) крутог система ослањања геометријски комплементарног објекта са интегрисаним сензорским и аквизиционим системом за регистровање генералисаног вектора силе спајања и 4) инферентни систем базиран на квазистатичком механичком моделу процеса цилиндричног спајања значајно редуковане прецизности кроз увођење низа апроксимација и систему за препознавање базираном на простору обележја директно изведеним из квазистатичког аналитичког модела процеса спајања и инферентне машине базиране на фазилогичком приступу закључивања и динамичкој анализи контекста применом одговарајућег коначног аутомата. Мада се на први поглед сензорски запис значајно разликовао од очекиваног, односно изведеног из развијеног квазистатичког аналитичког модела, развијени систем одлучивања је поседовао тако висока својства генерализације и робусности да су без изузетка препознавана карактеристична контактна стања у свим фазама процеса спајања, чак и у ситуацијама када је то било тешко закључити на основу временског приказа компоненти генералисаног вектора силе спајања. Екстензивни поремећаји који прате процес спајања, а који настају пре свега због нелинеарности феномена трења и некомплетности/непрецизности свих кључних параметара примењеног роботског система за монтажу су врло ефикасно потискивани и практично, остали без утицаја на систем одлучивања, који је једнозначно препознавао и прецизно временски лоцирао сваку промену контактне стање и тако вршио њихову класификацију.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања:

Понуђени приступ ствара нови истраживачки простор за даљу изградњу теоретских основа интелигентних роботских система за монтажу, који се дужи временски период налазе у евидентном застоју. После снажног импулса који су дали поставка и детаљна разрада теорије квазистатичког спајања и једно ново разумевање улоге попустљивости у процесу спајања (конципирање и практична имплементација изотропних попустљивих јединица са пројектованом тачком фиктивног ослањања у оптималну зону контакта објеката који се спајају), дошло је до објективне стагнације, а затим и застоја у овој области. Ова тврдња се евидентно изводи из обима научних публикација, а разлог је пре свега недостатак праве идеје како да се на концептуалном нивоу повежу различите методе изграђене у области вештачке интелигенције и физичке феноменологије процеса спајања.

Приступ који је изложен у оквиру ове дисертације уноси оригиналне идеје које имају потенцијал иницирања новог циклуса теоретских и практичних доприноса овој, за домен производних технологија изузетно значајној области. Уместо примене концепта црне кутије, где се систем интелигентног управљања производним процесом гради над непознатим моделом спреге улазно-излазног простора, истовремено игноришући сва расположива односно, априорна знања, у приступу који се нуди у оквиру ове дисертације извршена је вешта интеграција априорног и непознатог, сужавајући тако простор незивесности који објективно спутава ширу примену расположивих метода вештачке интелигенције на решавање инжењерских проблема. Мултидисциплинарност приступа и формални оквир увођења мултидисциплинарности у решавање конкретних проблема је основна вредност ове тезе. Пажљивим праћењем суштине проблематике, вешто су интегрисане врло различите научне области, као што је област аналитичке механике, концепт апроксимативног закључивања базиран на фази скуповима и методи носећих вектора, и класична теорија информационих машина у делу детерминистичких коначних аутомата. Оваквом интеграцијом створен је нови простор за изградњу оригиналне методе препознавања стања система/процеса, конкретно система за роботско спајање, која у својој суштини има динамичку природу, из које се црпи робусност која није остварива уобичајеним статичким и квазистатичким приступима, којима се занемарује контекст стања система/процеса који се препознаје.

Изграђеним приступом експлицитно је доказана одрживост сваке из скупа полазних хипотеза, наведених у тачки 2 - Опис дисертације са извођењем следећих афирмативних ставова:

1. Вектор силе спајања носи довољан информациони садржај за робусно препознавање контактних стања у спајању делова стабилне геометрије у реалном времену;
2. Општа теорија математичког препознавања облика је довољан формални оквир за робусно препознавање контактних стања у спајању делова у реалном времену, и
3. Контекстна анализа еволуције облика у времену је нужна за робусно препознавање непредвиђених и недопустивих ситуација у процесу спајања комплексних делова.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси:

Мада је развијена методологија интеграције аналитичког модела, метода вештачке интелигенције и класичне теорије информационих машина садржане у теорији аутомата експериментално проверавана и верификована у лабораторијским условима, практична примена ових резултата у индустрији није реална у скорије време. Изложени концепт је генеричке природе, а његова практична имплементација захтева даља научна истраживања у теоретском домену а затим, даље развојне активности инжењерске природе, која би могла да доведу до практичне имплементације у неким оквирима индустријске производње, кроз генерисање одговарајуће палете специјализованих високотехнолошких производа нове генерације, који би имали потенцијал суштинске промене технолошких основа градње роботских система са елементима вештачке интелигенције, доведене на такав ниво зрелости да је њихова примена реално одржива у пракси. Претходно наведена констатација ничим не умањује остварене резултате. Реално стање науке у овој области је објективно далеко од практичне применљивости, не само у домену технологије монтаже, или домену производних технологија уопште. Технологија вештачке интелигенције је у својој раној инкубационој фази, а истраживања која су обухваћена овом тезом представљају пре свега допринос у генеричком смислу, кроз тражење суштинских пробоја који ће омогућити њено приближавање пракси у времену које долази.

4.4. Кандидат је верификовао докторску дисертацију:

Доприноси докторске дисертације су верификовани кроз низ радова које је аутор објавио у међународним и часописима и саопштио на скуповима и то два рада у часописима који су на **SCI** листи и са једним радом у међународном часопису:

- [1] Petrovic, P., B., Jakovljevic, Z., Milacic, V., R., Context sensitive recognition of abrupt changes in cutting process, Expert Systems with Applications (2009), Vol. 37 Issue 5, pp. 3721-3729, ISSN: 0957-4174, doi: 10.1016/j.eswa.2009.11.053.
Импакт фактор часописа за 2008. годину IF 2.596; 17. часопис од 94 часописа у групи.
- [2] Petrovic, P., B., Jakovljevic, Z., Dynamic Compensation of Electrical Runout in Eddy Current Contactless Measurements of Non-Stationary Ferromagnetic Target, Sensor Letters, Vol. 7, pp. 191-202, 2009, ISSN: 1546-198X, doi: 10.11166/sl.2009.1031.
Импакт фактор часописа за 2007. годину IF 1.587; 11. часопис од 55 часописа у групи.
- [3] Petrovic, P., Jakovljevic, Z., Intelligent monitoring of Highly Dynamic Phenomena in Cutting Process Based on Wavelet Transform, Scientific Bulletin of the POLITEHNICA University of Timisoara, Romania, Tom 50 (64) Special Issue, September 2005, pp. 87-92, ISSN 1224-6077.

излагањем три рада на међународним конференцијама и два у штампани:

- [4] Petrovich, P., B., Jakovljevic, Z., Intelligent Real-time Cutting Tool Condition Monitoring Based on Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Force Pattern Recognition, International IEEE Conference Mechatronics & Robotics, Proceedings, Aachen 2004, Vol. III, pp. 1078-1083.
- [5] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., A New Method for Tool Condition Monitoring in Turning Operations Based on Fuzzy Clustering of Wavelet Coefficients, Proceedings of MATAR on CD, Praha, 2004
- [6] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B., Tool Condition Monitoring Based on Fuzzy Clustering of Wavelet Coefficients, 11th International CIRP Life Cycle Engineering Seminar, Proceedings, Belgrade, June, 2004
- [7] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B. Recognition of Contact States in Robotized Assembly Using Qualitative Wavelet Based Features and Support Vector Machines, 36th International MATADOR Conference, Manchester 2010 (рад прихваћен за излагање)
- [8] Jakovljevic, Z., Petrovic, P., B. Recognition of Contact States in Robotized Assembly Using Wavelet Transform and Support Vector Machines, International Conference on Innovative Technologies in Design, Manufacturing and Production INTECH, Prague 2010 (рад прихваћен за излагање).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

5.1. Кратак осврт на дисертацију у целини, на научне доприносе конкретној научној области и методологији, на примену у пракси и на способности кандидата:

У раду је дат свеобухватан преглед истраживања у области релевантној за тематске оквире дисертације. Дисертација садржи детаљно разрађене теоретске основе и експерименталну верификацију изграђеног приступа за препознавање контактних стања у процесу роботизованог спајања, базираног на интеграцији априорних знања о

процесу спајања садржаних у апроксимативним аналитичким моделима и концепта вештачке интелигенције којим се решава проблем непознатих параметара и или структуре окружења у коме се овај процес изводи. Решавање постављеног проблема је остварено ефикасном применом модерних метода и мултидисциплинарног приступа, укључујући и екстензивне експерименталне провере које су потврдиле одрживост предложеног концепта. Добијени резултати су експлицитно повезани са полазним хипотезама којима је био омеђен истраживачки оквир ове дисертације. Текст дисертација је концизно написан, са јасним стилом излагања и вешто изабраном терминологијом за нове садржаје, и уз коришћење стандардних ознака и мерних јединица.

5.2. Предлог Комисије наставно-научном већу:

На основу изложеног, чланови комисије су једногласно закључили да докторска дисертација „Учење и контекстно препознавање процеса спајања у роботизованој монтажи“ кандидата мр Живане Јаковљевић, дипл.маш.инж. асистента Машинског факултета у Београду на Катедри за производно машинство, испуњава све формалне (законске) и стварне (научне) услове предвиђене за докторску дисертацију. Зато Комисија предлаже Научно-наставном већу да овај извештај усвоји у целости и у складу са Законом о Универзитету и Статутом Машинског факултета предузме потребне активности ради стицања неопходних услова за заказивање јавне одбране.

У Београду, 03.06.2010.

Чланови Комисије:

др Петар Б. Петровић, редовни професор, ментор
Машински факултет у Београду

др Жарко Спасић, редовни професор
Машински факултет у Београду

др Мирослав Пилиповић, редовни професор
Машински факултет у Београду

др Драган Милутиновић, редовни професор
Машински факултет у Београду

др Јанко Ходолич, редовни професор
Факултет техничких наука у Новом Саду