

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 771/2
ДАТУМ: 12.04.2016.

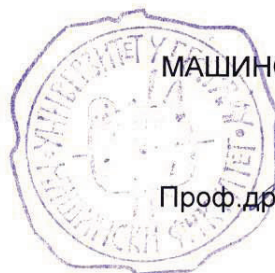
На основу захтева доц. др Николе Славковића, бр. 771/1 од 01.04.2016. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 07.04.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ


Да се за рецензенте Техничког решења под насловом: „**Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима**“ чији су аутори: доц. др Никола Славковић, дипл.инж.маш., проф. др Драган Милутиновић, дипл.инж.маш., проф. др Саша Живановић, дипл.инж.маш., доц. др Бранко Кокотовић, дипл.инж.маш., др Милан Милутиновић, дипл.инж.маш., Техникум Таурунум, Висока инжењерска школа струковних студија, Београд, именују:

- проф. др Милан Зељковић, Факултет техничких наука, Нови Сад
- проф. др Слободан Табаковић, Факултет техничких наука, Нови Сад.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА


Проф. др Радивоје Митровић

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Краљице Марије 16**

Никола Славковић
Драган Милутиновић
Саша Живановић
Бранко Кокотовић
Милан Милутиновић

**МЕТОД КОМПЕНЗАЦИЈЕ ГРЕШАКА ИЗАЗВАНИХ СИЛАМА РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ
РОБОТИМА**

-Техничко решење-

Београд, 2016.

Подаци о техничком решењу

Врста техничког решења	Нова метода, М85, Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима
Аутори техничког решења	<p>Др Никола Славковић, доцент ¹⁾ Др Драган Милутиновић, редовни професор ¹⁾ Др Саша Живановић, ванредни професор ¹⁾ Др Бранко Кокотовић, доцент ¹⁾ Др Милан Милутиновић, дипл. инж. маш. ²⁾</p> <p>¹⁾ Универзитет у Београду, Машински факултет ²⁾ Техникум Таурунум, Висока инжењерска школа струковних студија, Београд</p>
Назив техничког решења	МЕТОД КОМПЕНЗАЦИЈЕ ГРЕШАКА ИЗАЗВАНИХ СИЛАМА РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ РОБОТИМА
Кључне речи	Обрада роботима, грешке обраде, попустљивост робота, компензација грешака
За кога је рађено техничко решење	Нова метода, Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима је развијена на Машинском факултету у Београду у оквиру пројекта Технолошког развоја ТР35022 „Развој нове генерације домаћих обрадних система“.
Ко користи техничко решење	Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима се користи у истраживањима и настави на Машинском факултету Универзитета у Београду.
Година израде техничког решења	2016.
Година када је почело да се примењује техничко решење и од кога	2016., Машински факултет Универзитета у Београду, CAD Professional Systems, Београд
Верификација резултата	<p>Од стране рецензента: 1. Проф. др Милан Зељковић¹⁾ 2. Проф. др Слободан Табаковић¹⁾</p> <p>¹⁾ Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука</p>
Ко је прихватио техничко решење	Машински факултет Универзитета у Београду
Примена резултата	Нова метода за компензацију грешака изазваних силама резања при обради роботима који се програмирају G-кодом.

Одлуком Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр 771/2 од 12.04.2016. године именовани смо за рецензенте техничког решења под насловом

„Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима“

реализованог у оквиру пројекта TP-35022, чији су аутори: доц. др Никола Славковић, проф. др Драган Милутиновић, проф. др Саша Живановић, доц. др Бранко Кокотовић и др Милан Милутиновић, дипл. инж. маш.

На основу прегледа Елабората овог техничког решења и увида у публиковане радове о њему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима“ аутора доц. др Н. Славковића, проф. др Д. Милутиновића, проф. др С. Живановића, доц. др Б. Кокотовића и др М. Милутиновића, дипл. инж. маш., приказано је Елаборатом на 22 странице формата А4 писаних фонтом величине 11pt са нормалним проредом. Садржи 16 слика и 2 табеле. Елаборат има шест поглавља и списак коришћене литературе. Наслови поглавља су:

1. Област на коју се техничко решење односи
2. Технички проблем
3. Стање технике
4. Суштина и детаљан опис техничког решења
5. Приказ резултата примене
6. Закључак
7. Литература

Техничко решење припада области развоја обрадних система на бази робота за вишеосну обраду глодањем првенствено сложенијих делова, већих димензија од мекших материјала ниже и средње класе тачности и реализовано је у оквиру пројекта TP-35022 „Развој нове генерације домаћих обрадних система“, који подржава Министарство просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије.

Развијени метод се користи за корекцију програма у G-коду, при обради роботима, у циљу повећања тачности обраде. Кориговањем путање алата врши се *off-line* компензација грешака насталих под дејством сила резања услед статичке попустљивости робота. Замисао метода компензације грешака је да се на основу програмиране путање алата и статичких помераја врха алата, генерише модификована путања односно кориговани програм. Уношењем овако коригованог програма у управљачки систем робота врх алата би се, под дејством вектора сила резања, уместо да се креће по модификованој путањи уствари кретао по стварној путањи алата након компензације, односно довољно близу програмиране путање алата тј. у унапред прописаним границама.

У поглављу *Технички проблем* се наводи значај развоја обрадних система за вишеосну обраду базираних на роботима у задацима обраде сложених делова од мекших материјала ниже и средње класе тачности, као алтернативе скупим 5-осним машинама алаткама за ову класу задатака. Наведене су предности али и ограничавајући фактори за ширу примену робота у задацима вишеосне обраде наведене класе задатака. Главни ограничавајући фактори

су комплексност програмирања и незадовољавајућа крутост серијске структуре робота. Такође, наведено је и да највећи утицај на тачност при обради великим брзинама имају помераји, односно грешке обраде, изазвани статичком силом у правцу нормале на обрађену површину при глодању, јер је њена вредност вишеструко већа од амплитуде динамичке компоненте отпора.

У поглављу *Стање технике* су наведени и описани *on-line* и *off-line* приступи решавања проблема компензације грешака насталих при примени индустријских робота у задацима вишеосне обраде. Ови приступи подразумевају модификацију номиналног кинематичког модела робота у управљачком софтверу или модификацију програма односно номиналне путање алата у спољашњим (Декартовим) координатама. Наведено је и то да је у пракси често немогуће укључити модел попустљивости робота у управљачки систем у коме су трансформације између простора зглобова и Декартовог простора засноване на бази кинематичког модела. Насупрот томе, *off-line* компензација грешака, и у једном и у другом случају, је погодна за примену у реалним индустријским условима.

У поглављу *Суштина и детаљан опис техничког решења* је поред описа развијеног метода компензације описан и поступак примене развијеног метода на роботе који се програмирају G-кодом кроз следеће целине:

4.1. *Концепт развијеног метода за off-line компензацију грешака*

4.2. *Кинематичко моделирање робота*

4.3. *Моделирање статичке попустљивости робота*

4.3.1. *Експериментално аналитичка идентификација резултујуће попустљивости зглобова*

4.4. *Моделирање сила резања*

4.5. *Опис развијеног метода off-line компензације грешака изазваних силама резања*

У подпоглављу *Концепт развијеног метода за off-line компензацију грешака* објашњена је идеја развијеног метода и дат је његов концепт на илустративном примеру контурне обраде правоугаоника. Замисао метода компензације грешака је да се на основу програмиране путање алата и статичких помераја врха алата, генерише модификована путања односно кориговани програм. Уношењем овако коригованог програма у управљачки систем робота врх алата би се, под дејством вектора сила резања, уместо да се креће по модификованој путањи уствари кретао по стварној путањи алата након компензације, односно довољно близу програмиране путање алата тј. у унапред прописаним границама.

У подпоглављима 4.2. до 4.4 су објашњени: поступак кинематичког моделирања робота, развијени приступ моделирања статичке попустљивости робота, развијени приступ идентификације резултујућих попустљивости зглобова робота као главних извора попустљивости структуре робота и механистички приступ моделирања сила резања. Ово представља предуслов за успешну примену развијеног метода.

У подпоглављу 4.5 детаљно је описан развијени метод *off-line* компензације грешака изазваних силама резања базиран на корекцији G-кода применом развијеног алгорита за предикцију статичких помераја врха робота (*APPVA*) и развијеног алгорита за модификацију програмираног линеарног сегмента (*AMPLS*).

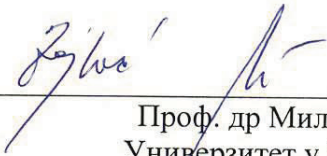
У поглављу *Приказ резултата примене* је дат пример примене развијеног метода на роботу *LOLA50* при обради контура, са и без компензације грешака, на тест деловима од алуминијума. Дати су и резултати ових експеримената који говоре о ефикасности примене метода. Примена метода компензације грешака омогућава да се оствари задата тачност обраде у очекиваним границама за роботе.

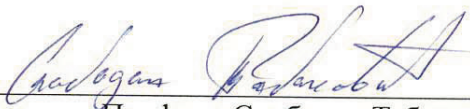
На крају, у *Закључку*, се наводи значај развоја оваквог метода *off-line* компензације грешака обраде изазваних силама резања код робота, који се програмирају у G-коду, јер ствара реалне претпоставке за њихову практичну примену. Развијени метод не захтева

улагања у софтвер, адаптацију управљачког система и набавку сензора, а при том омогућава примену постојећих *CAD/CAM* система за програмирање 5-осних машина алатки базираних на *G*-коду. Ово значи да је директно применљив од стране програмера и оператера који имају искуства у *CNC* технологији и програмирању у *G*-коду.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „**Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима**“ јасно су приказали и теоријски обрадили комплетну структуру техничког решења. Приказани резултати примене развијеног метода при обради делова од алуминијума на роботу *LOLA50*, који се програмира *G*-кодом, јасно указују да ово техничко решење представља допринос у области развоја реконфигурабилних обрадних система на бази робота у циљу повећања тачности обраде. Предлажемо Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да нову методу „**Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима**“ прихвати као ново техничко решење.


Проф. др Милан Зељковић
Универзитет у Новом Саду,
Факултет техничких наука


Проф. др Слободан Табаковић
Универзитет у Новом Саду,
Факултет техничких наука

У Новом Саду, 11.05.2016. године

ПРЕДМЕТ: МЕТОД КОМПЕНЗАЦИЈЕ ГРЕШАКА ИЗАЗВАНИХ СИЛАМА РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ РОБОТИМА

Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима је развијен на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Ово техничко решење које су развили аутори: доц. др Никола Славковић, проф. др Драган Милутиновић, проф. др Саша Живановић, доц. др Бранко Кокотовић и др Милан Милутиновић, дипл. инж. маш., наша фирма користи као метод за компензацију грешака које настају као последица попустљивости робота при изради врло сложених делова и алата од меких материјала.

Развијени метод компензације грешака омогућава да се оствари задата тачност обраде у очекиваним границама за роботе. Овако развијени метод *off-line* компензације грешака обраде изазваних силама резања код робота, који се програмирају у G-коду, ствара реалне претпоставке за њихову практичну примену. Развијени метод не захтева улагања у софтвер, адаптацију управљачког система и додатне сензоре, а при том омогућава примену CAD/CAM система, који се користе за програмирање 5-осних машина алатки базираних на G-коду, у задацима обраде роботима вертикалне зглобне конфигурације.

За CPS-CAD Professional Systems,
Др Милан Бојановић, дипл. инж.
директор

Београд, 09.05.2016. године



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 771/3
ДАТУМ: 03.06.2016.

На основу захтева доц. др Николе Славковића, бр. 771/1 од 01.04.2016. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 02.06.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење (М85) под насловом: „**Метод компензације грешака изазваних силама резања при обради роботима**“ чији су аутори: доц. др Никола Славковић, дипл.инж.маш., проф. др Драган Милутиновић, дипл.инж.маш., проф. др Саша Живановић, дипл.инж.маш., доц. др Бранко Кокотовић, дипл.инж.маш., др Милан Милутиновић, дипл.инж.маш., Техникум Таурунум, Висока инжењерска школа струковних студија, Београд.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА


Проф. др Радивоје Митровић