

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 101/3  
ДАТУМ: 24.01.2013.

На основу захтева руководиоца пројекта проф.др Петра Петровића бр. 101/1 од 17.01.2013. године, одлуке о именовању рецензента и чл. 12.5 Статута Машинског факултета, Истраживачко стручно веће на седници од 24.01.2013. године, донело је следећу

### О Д Л У К У

Орихвата се Техничко решење рађено у оквиру пројекта ТР 35007, под насловом: **„Метода за препознавање контактних стања у роботизованој монтажи“**, чији су аутори: доц.др Живана Јаковљевић, проф.др Петар Петровић, дипл.инж.маш. Владимир Миковић, дипл.инж.маш. Никола Лукић и дипл.инж.маш. Иван Данилов, а позитивну рецензију поднели: проф.др Јанко Ходолич, ФТН Нови Сад и др Мирослав Пилиповић, ред.проф. у пензији.

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



ПРОДЕКАН  
ЗА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ

  
Проф.др Војкан Лучанин



Odlukom Istraživačko-stručnog veća Mašinskog fakulteta u Beogradu br. 101/2 od 17.01.2013. godine imenovani smo za recenzente tehničkog rešenja **Metoda za prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži**, autora: doc. dr Živana Jakovljević, dipl. ing. maš., prof. dr Petar B. Petrović, dipl. ing. maš., Vladimir Miković, dipl. ing. maš., Nikola Lukić, dipl. ing. maš., Ivan Danilov, dipl. ing. maš. Na osnovu predloga ovog tehničkog rešenja podnosimo sledeći:

## IZVEŠTAJ

Tehničko rešenje: Metoda za prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži, autora: doc. dr Živana Jakovljević, dipl. ing. maš., prof. dr Petar B. Petrović, dipl. ing. maš., Vladimir Miković, dipl. ing. maš., Nikola Lukić, dipl. ing. maš., Ivan Danilov, dipl. ing. maš. opisano je na 19 stranica A4 formata pisanih sa 12pt singl proreda, sadrži 10 slika i 4 tabele. Sastavljeno je od pet poglavlja i spiska korišćene literature. Naslovi poglavlja su:

1. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi
2. Tehnički problem
3. Stanje tehnike
4. Opis tehničkog rešenja
5. Zaključak

Metoda za prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži razvijena je za potrebe zatvaranja eksterne povratne sprege kod sistema za aktivno popustljivo kretanje robota u robotizovanoj montaži. Usled prisustva značajnih neodređenosti prilikom finih kretanja u robotizovanoj montaži, neophodna je odgovarajuća popustljivost mehaničke strukture robota sa završnim uređajem koja se u uslovima visoko diverzifikovane proizvodnje na optimalan način ostvaruje uvođenjem aktivnog popustljivog kretanja.

Sistem za aktivno popustljivo kretanje se sastoji iz interaktivnog planera, sistema za prepoznavanje kontaktnih stanja i kontrolera koji izvršava popustljivo kretanje. Planer koji vrši sintezu trajektorije robota na simboličkom nivou mora imati mogućnost replaniranja trajektorije na osnovu podataka prikupljenih iz procesa u realnom vremenu. Sistem za prepoznavanje kontaktnih stanja upravo obezbeđuje ovu povratnu spregu. Njegova uloga je da na osnovu izmerenih vrednosti sile i poze u okviru procesa spajanja prepozna trenutno kontaktno stanje između delova koji se spajaju.

U poglavlju stanje tehnike se navodi da se do sada sprovedena istraživanja u oblasti prepoznavanja kontaktnih stanja mogu podeliti u dve grupe: jedna grupa istraživanja polazi od analitičkog modela procesa spajanja i korišćenjem statističkih metoda određuje sličnost između stvarne i modelirane situacije, dok drugi pristup polazi od raspoloživosti velike količine eksperimentalnih podataka i korišćenjem različitih tehnika (npr. neuronske mreže, fazi logika, skriveni Markovljevi modeli) uči kontaktna stanja. Prva grupa metoda se uglavnom odnosi na jednostavnije probleme kod kojih su oba dela koja se spajaju konveksni poliedri, a kontaktna stanja se sastoje samo od jednog osnovnog kontakta. Druga grupa metoda nije primenljiva kada nije moguće (na primer vizuelno) utvrditi u svakom trenutku vremena u kom kontaktnom stanju se nalaze delovi i nema opštu upotrebljivost – upotrebljiva je samo za dimenzije, krutost, relativne zazore, materijale delova korišćene u eksperimentima. Stanje tehnike u svetu je trenutno takvo da je veliki broj istraživanja bio fokusiran na sisteme za aktivno popustljivo kretanje robota, ali da je za njegovu praktičnu implementaciju jedna od dve nedostajuće karike upravo sistem za prepoznavanje kontaktnih stanja.

U poglavlju opis tehničkog rešenja autori navode svoj koncept metodologije koja se sastoji iz dve grupe modula: jedna grupa se koristi za offline obučavanje, a druga za online prepoznavanje kontaktnih stanja. Pošto iz procesa nije moguće dobiti pouzdanu informaciju o relativnoj pozi delova koji se spajaju u realnom vremenu, prepoznavanje kontaktnih stanja se



vrši na osnovu sile spajanja koja se može relativno lako meriti. Online prepoznavanje je zasnovano na matematičkom prepoznavanju oblika i sastoji se od dva modula: 1) modul za prevođenje izmerene generalizovane sile spajanja u vektor obeležja i 2) modul za klasifikaciju kontaktnih stanja. Transformacije za proces prevođenja i granice klasa se dobijaju tokom offline obučavanja. Offline obučavanje kod predložene metodologije je zasnovano na mehaničkom modelu procesa, a ne na eksperimentalnim podacima čime je istovremeno omogućena ekstrakcija kvalitativnih obeležja i obučavanje sa nadzorom pošto je u svakom trenutku poznato trenutno kontaktno stanje. Za ekstrakciju kvalitativnih obeležja koristi se diskretna vejevlet transformacija koja omogućuje efikasno prepoznavanje različitih polinomialnih i spektralnih komponenata u signalu i efikasno korišćenje raspoloživog mehaničkog modela u ekstrakciji obeležja. Za generisanje granica između klasa koriste se mašine sa nosećim vektorima koje sistemu za prepoznavanje daju dobra svojstva generalizacije kroz kreiranje granica klasa sa maksimalnom marginom.

Metodologija je razrađena i eksperimentalno verifikovana za slučaj cilindričnog spajanja sa uvodnikom. Kreirana je mašina koja je zasnovana na kvalitativnim obeležjima ekstrahovanim iz sile spajanja. Zahvaljujući tome, ona je opšte primenljiva za prepoznavanje kontaktnih stanja u procesu cilindričnog spajanja sa uvodnikom, bez obzira na parametre (prečnik delova, krutost sistema, koeficijent trenja...) konkretnog procesa. Pokazano je da je u konkretnom slučaju za frekvencu odabiranja sile spajanja od 400Hz vreme prepoznavanja kontaktnog stanja 40ms (16 odbiraka). Iako je obučavanje bilo zasnovano na približnom, tj. značajno uprošćenom analitičkom modelu, eksperimenti su pokazali da su u realnom svetu sveukupne performanse mašine odlične.

Izložena metodologija daje novi okvir za generisanje mašine za prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži. Ona predlaže mašinu za prepoznavanje kontaktnih stanja zasnovanu na modelu sile spajanja. To je nov pristup koji uvodi značajne prednosti u odnosu na uobičajene metode koje su zasnovane strogo na eksperimentalnim podacima. Tokom kreiranja mašine za prepoznavanje sistematski se koriste apriorna znanja sadržana u analitičkom modelu procesa spajanja.

## MIŠLJENJE

Autori tehničkog rešenja: Metoda za prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži su jasno prikazali i teorijski obradili kompletnu strukturu tehničkog rešenja. Prikazane mogućnosti metode i njena implementacija u realnim uslovima predstavljaju nov doprinos i otvaraju nove mogućnosti u oblasti aktivnog popustljivog kretanja robota u okviru robotizovanog spajanja delova. Sa zadovoljstvom predlažemo Istraživačko-stručnom veću Mašinskog fakulteta u Beogradu da novu metodu: **Metoda za prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži**, prihvati kao novo tehničko rešenje.



Prof. dr Janko Hodolič, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad



Prof. dr Miroslav Pilipović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beograd

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 101/2  
ДАТУМ: 17.01.2013.

На основу захтева руководиоца пројекта проф.др Петра Петровића бр. 101/1 од 17.01.2013. године и чл. 12.5 Статута Машинског факултета, Истраживачко стручно веће на седници од 17.01.2013. године, донело је следећу

### О Д Л У К У

Да се за рецензенте Техничког решења рађеног у оквиру пројекта ТР 35007, под насловом: **„Метода за препознавање контактних стања у роботизованој монтажи“**, чији су аутори: доц.др Живана Јаковљевић, проф.др Петар Петровић, дипл.инж.маш. Владимир Миковић, дипл.инж.маш. Никола Лукић и дипл.инж.маш. Иван Данилов, именују:

- проф.др Јанко Ходолич, ФТН Нови Сад и
- др Мирослав Пилиповић, ред.проф. у пензији.

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



ПРОДЕКАН  
ЗА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ

  
Проф.др Војкан Лучанин



ИСТРАЖИВАЖКО-СТРУЧНОМ ВЕЋУ  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ  
Проф. др Војкан Лучанин  
Продекан за научно-истраживачку делатност

Предмет: Предлог за избор рецензената техничког решења

Молим Истраживачко-стручно веће да за Техничко решење:

**Метода за препознавање контактних стања у роботизованој монтажи**

аутори:

Доц. др Живана Јаковљевић, дипл. инг. маш.,  
Проф. др Петар Б. Петровић, дипл. инг. маш.,  
Владимир Миковић, дипл. инг. маш.,  
Никола Лукић, дипл. инг. маш.,  
Иван Данилов, дипл. инг. маш.

реализовано у оквиру пројекта ТР35007 који је финансијски подржало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у периоду 2011. - 2014. године, именује два рецензента.

Наш предлог је да рецензију овог техничког решења обаве:

Проф. др Јанко Ходолич, Факултет техничких наука Нови Сад  
Проф. др Мирослав Пилиповић, Машински факултет Универзитета у Београду

С поштовањем,

Проф. др Петар Б. Петровић  
Руководилац пројекта ТР35007