

UNIVERZITET U BEOGRADU

MAŠINSKI FAKULTET

Centar za nove tehnologije Katedre za proizvodno mašinstvo
Laboratorija za kibernetiku i mehatronske sisteme - CMSys Lab
Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, SRBIJA

Tehničko rešenje CMSysLab 2013-03

**CyberFABRICATOR INTELIGENTNI
INTERAKTIVNI INTERFEJS ZA SISTEME
ADAPTIVNOG ROBOTSKOG ZAVARIVANJA**

Beograd, januar 2014.

Specifikacija tehničkog rešenja u skladu sa Pravilnikom za vrednovanje rezultata istraživanja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije:

Vrsta tehničkog rešenja	Laboratorijski prototip (M85)
Autori tehničkog rešenja	Prof. dr Petar B. Petrović, dipl. maš. inž., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Miloš Pjević, dipl. inž. maš.
Naziv tehničkog rešenja	CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja
Za koga je rađeno tehničko rešenje	Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu Tehničko rešenje je razvijeno u okviru projekta TR35007: Inteligentni robotski sistemi za ekstremno diverzifikovanu proizvodnju
Ko koristi tehničko rešenje	Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Godina realizacije tehničkog rešenja	2013.
Verifikacija rezultata	Od strane recenzenata: Prof. dr Janko Hodolić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad Doc. dr Saša Živanović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Ko je prihvatio tehničko rešenje	Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Primena rezultata	Laboratorija za Kibernetiku i mehatronske sisteme, Centra za nove tehnologije - CeNT, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

1. OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI

Proizvodna paradigma masovne kastomizacije pred istraživačku zajednicu nametnula je potrebu izrade novih proizvodnih tehnologija koje će omogućiti održivu upotrebljivost u uslovima ekstremno malih proizvodnih serija i potrebe ekstremno brze reakcije na zahteve tržišta (rapid-to-market).

Paralelno, nameće se i dodatni zahtev, koji je podjednako delikatan, a odnosi se na primenljivost novih proizvodnih tehnologija, uključujući i robotiku, u proizvodnim okruženjima malih i srednjih preduzeća. Visoka tehnologija ne sme da bude distancirana od malih kompanija i privilegija samo velikih.

Ovo tehničko rešenje fokusirano je na ključnu istraživačku i razvojnu oblast koju otvara nova proizvodna paradigma masovne kastomizacije: efektivna kolaboracija čovek-mašina u okviru hibridnih proizvodnih sistema nove generacije. Poseban fokus je na robotskim sistemima i njihova efektivna primena u malim serijama i malim preduzećima sa ograničenim potencijalima u domenu inženjerskih resursa i kapaciteta za finansiranje.

2. TEHNIČKI PROBLEM

Ovo tehničko rešenje ima generički karakter i usmereno je ka stvaranju radikalno nove tehničke platforme za efektivnu dvosmernu komunikaciju između čoveka i proizvodnog sistema. Istraživačko težište je dovedeno u čisto teoretski domen kibernetско-fizičkih sistema, ali paralelno i u praktični domen, fizičke realizacije inovativnih koncepata ove vrste kroz primenu postojeće, odnosno komercijalno raspoložive tehnologije, uz minornu dogradnju u domenu hardvera. Ključni prodor je u domenu znanja kako da se ostvari integracija kibernetскоg i fizičkog prostora, kroz razvoj odgovarajućih softverskih rešenja. Suština tehničkog problema je u tome kako da se to uradi, kako da se čovek spregne sa robotom preko odgovarajućeg interfejsa koji će omogućiti da čovek sa lakoćom upravlja procesom, a da sistem paralelno radi računski intenzivne zadake i generiše na pouzdan način izvršne kodne liste za upravljanje robotom.

3. STANJE TEHNIKE

Zahtevi koje nameće nova proizvodna paradigma masovne kastomizacije imaju značajne implikacije na sve bazne performanse proizvodnih tehnologija. Na primer, programiranje robota mora da bude drastično pojednostavljeno i ubrzano, jer postojeći stereotipi razvoja aplikativnih programa koji se protežu mesecima i u kojem učestvuju na desetine specijalizovanih inženjera tehnologa su u novom kontekstu neodrživi. Polazeći od ove činjenice, kroz Šesti okvirni program (FP6) Evropske unije realizovan je projekat SMERobot - The European Robot Initiative for Strengthening the Competitiveness of SMEs in Manufacturing, finansiran u periodu od 2005. do 2009. godine, koordinator Fraunhofer institue - IPA, budžet projekta 14.9 miliona EUR, sa panevropskim konzorcijumom od 22 institucije od kojih 14 industrijskih kompanija. U ovom kontekstu, problem pristupa robotskim tehnologijama označen je kao tehnološka zamka ('automation trap'), jer zbog prethodno navedenih razloga mala i srednja preduzeća svoju kompetitivnost mogu da razvijaju samo van okvira robotskih i drugih visokih tehnologija. Za rešenje ovog problema projekat SMERobot polazi od stava da se ograničenje obima finansiranja, ograničenja u raspoloživim inženjerskim resursima i inherentna dinamičnost u proizvodnom procesu može prevazići ukoliko se razvije nova generacija robota koji će omogućiti niske troškove primene ove tehnologije, odnosno niske troškove inicijalne investicije, niske troškove njenog korišćenja, niske troškove promene namene kao posledice promena u proizvodnom programu

i efikasan rad u uslovima ograničenja u ljudskom resursu. Rešenje se traži kroz rešavanje tri osnovna zadatka:

- Izgradnja SMErobot tehnologije robotskih sistema različitog stepena automatizacije po ceni koja nije veća od 1/3 cene postojeće automatizacije ove vrste;
- Novi poslovni modeli koji nude opcije za finansiranje i korišćenje robotskih sistema u uslovima nesigurnosti u obimu proizvodnje, tržišnog veka proizvoda i promenljive kvalifikacije radne snage;
- Jačanje lanca snabdevanja za robotske sisteme kroz fokusiranje na potrebe i specifičnu kulturu industrijske proizvodnje u malim i srednjim preduzećima, u odnosu na planiranje, primenu i održavanje;

koji su bazirani na tri osnovna inovativna sadržaja:

- Robot sposoban da razume instrukcije u formi koju koristi čovek u međusobnoj komunikaciji (govor, gestikulacija i grafika);
- **Bezbedan i produktivan robot svestan čovekovog prisustva u zajedničkom radnom prostoru** (kooperativan, bez ograda);
- **Instalisanje i konfigurisanje robotskog sistema u roku od tri dana** (modularan sa plug-and-produce komponentama).

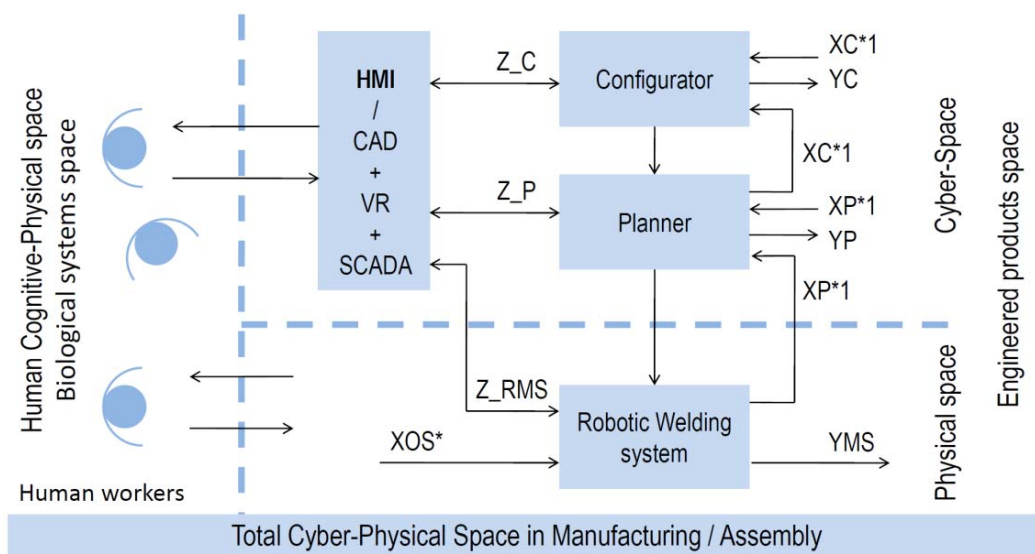
Polazeći od ovog okvira, kroz projekat TR35007 razvijena je odgovarajuća platforma koja omogućava da se okviri definisani projektom SMErobot približe malim i srednjim preduzećima u domaćoj industriji. Ova istraživanja smeštena su u jedan širi istraživački kontekst: kibernetско-fizički sistemi za domen proizvodnih tehnologija.

4. KONCEPT TEHNIČKOG REŠENJA

Na slici 1 prikazana je osnovna arhitektura platforme koja se razvija u okviru projekta TR35007 pod nazivom CyberFABRICATOR. Tokom 2013. godine CyberFABRICATOR platforma je jednim delom praktično implementirana u laboratorijskim uslovima i time su prikupljena rana iskustva o praktičnoj izvodljivosti i potencijalu usvojenog pristupa u celini. Ovaj sistem se sastoji iz tri osnovne celine: 1) fizički sistem robotske radne stanice koja uključuje jednog ili više robota za zavarivanje i manipulaciju, pomoćni sistem pozicionera, automataizovani stezni pribor, agregate za zavarivanje i sličnu opremu koja je specijalizovana za izvršavanje zadataka robotskog zavarivanja, 2) kibernetски (apstraktni) sistem koji obuhvata različitu upravljačku opremu (robotske upravljačke sisteme, upravljačke sistema druge programabilne opreme, opremu za kondicioniranje senzorskog sistema, upravljačku opremu za agregata za zavarivanje i slično), i jedan kompleksan sistem koji ostvaruje funkciju inteligentnog interfejsa za spregu sa biološkim sistemom, i 3) biološki sistem u kome se nalaze radnici, operatori koji upravljaju i nadziru rad proizvodnog sistema u celini.

Kibernetски sistem je ključna komponenta, od vitalnog značaja za odgovor na nove zahteve koje nameće proizvodna paradigma masovne kastomizacije.

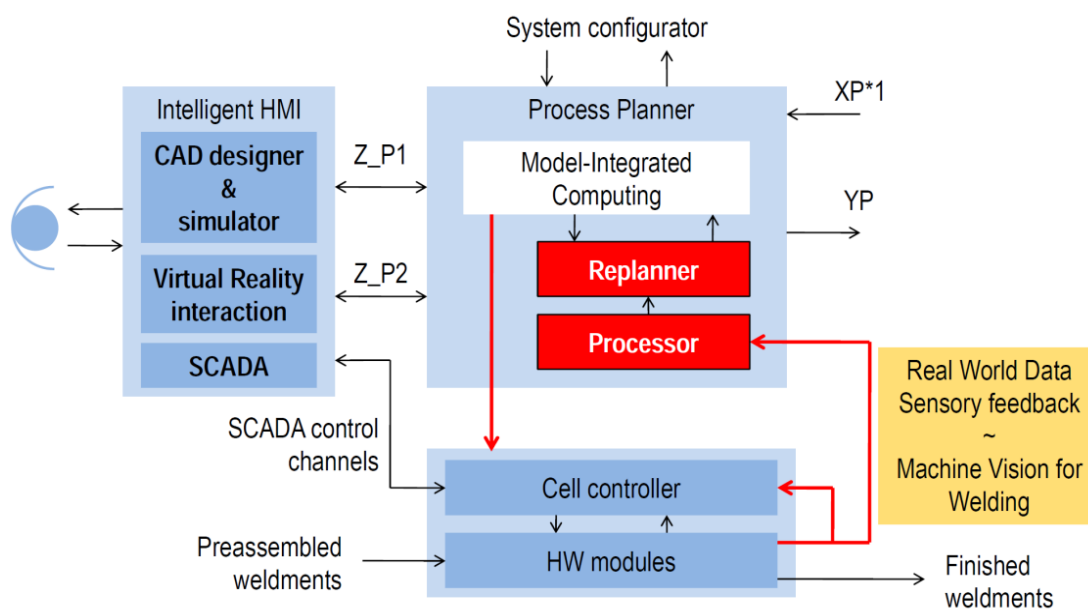
Kibernetски sistem se sastoji iz tri komponente: 1) konfigurator fizičkog sistema koji omogućava rekonfigurabilnost fizičkog sistema (esencijalna funkcija za male serije), 2) planer radnih aktivnosti fizičkog sistema, i 3) inteligentni interfejs koji ostvaruje spregu između kibernetskog i biološkog prostora. Ova tri sistema su spregnuta sa ostatkom informacionog sistema proizvodnog pogona.



Slika 1: Osnovna arhitektura kibernetско-fizičke platforme za paradigmu masovne kustomizacije fokusirana na domen malih i srednjih proizvodnih preduzeća - CyberFABRICATOR Platform.

5. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

Tehničko rešenje koje se ovde obrazlaže ograničava se samo na funkciju planera i HMI interfejsa. Detaljna struktura planera i HMI interfejsa koji su razvijeni u ovoj fazi prikazana je na slici 2. Osnovni cilj istraživačko razvojnih aktivnosti koje su rezultovale ovo tehnološko rešenje je da se potvrdi praktična izvodljivost i praktična upotrebljivost koncepta razvijenog kroz projekat TR35007 kroz proveru ostvarljivosti prethodno navedenih ciljanih performansi.



Slika 2: Arhitektura podsistema planera i HMI CyberFABRICATOR platforme..

Modul planera polazi od nominalnog zadatka, izvedenog iz nekog CAD modelera ili kroz interaktivno definisanje zadatka obučavanjem. U okviru ovog tehničkog rešenja za ove namene je korišćen komercijalno raspoloživ CAD paket SolidWorks, mada u 2013. godini nije razmatran problem generisanja nominalnog zadatka (u ovoj fazi se polazi od pretpostavke da nominalni zadatak postoji).

U okviru robotske ćelije za zavarivanje (zavarivanje je jedan od proizvodnih procesa koji u Srbiji ima vrlo veliku tehnološku aktuelnost i suočava se sa hroničnim problemom nedostatka kvalifikovane manuelne radne snage za njegovo izvođenje), nominalni zadatak, odnosno nominalni plan zavarivanja, ima malu praktičnu vrednost, jer je stanje sklopa koji se zavaruje uvek bitno drugačije od nominalnog. Rešavanje ovog problema, odnosno unapređenje kvaliteta priprema (sastavnih delova i predmontiranog sklopa) nije prihvatljiv pristup, jer on nepotrebno podiže cenu koštanja zavarenog sklopa. Zato su istraživački naporu fokusirani na domen adaptivnog ponašanja, odnosno na razradu modula replanera. Replaner na osnovu senzorskih informacija modifikuje nominalni plan zavarivanja na parametarskom i u određenim slučajevima strukturnom nivou. Osnovni istraživački cilj je konstrukcija replanera koji poseduje sposobnost autonomnog rada. Ovako definisan cilj je previše ambiciozan i zato je on relaksiran na konstruisanje replanera koji je sposoban da svoju funkciju ostvaruje na delimično autonoman način (maksimalno moguće) i koji poseduje inteligentan interfejs za spregu sa čovekom, koji će omogućiti jednostavnu i vremenski efikasnu komunikaciju sa replanerom i punu interaktivnost čoveka i kibernetike osnove replanera. U tom smislu, ostvarena su dva značajna rezultata: 1) izgradnja baznih plug-in modula u okviru SolidWorks 3D CAD modelera i 2) izgradnja izabranih funkcionalnih modula replanera.

Izgradnja baznih plug-in modula u okviru SolidWorks 3D CAD modelera ostvarena je primenom SolidWorks API biblioteke, koja dozvoljava punu kastomizaciju ovog paketa i njegovu specijalizaciju za funkcije koje originalno ne postoje kroz izgradnju odgovarajućeg sistema makroa. Konkretno, izrađeni su funkcionalni moduli koji omogućavaju: 1) konfiguraciju fizičkog sistema (kinematsku i parametarsku), 2) interaktivnost fizičkog sistema (robot) i prostornog modela sklopa koji se zavaruje, 3) akviziciju senzorskih signala laserskog triangulacionog senzora kojim robot skenira sklop koji se zavaruje i tako generiše primarnu informaciju o stvarnom stanju fizičkog sistema, 4) vizuelizaciju senzorskih informacija i prikaz odstupanja realnog stanja fizičkog sistema u odnosu na njegov nominalni model i 5) vizuelizaciju replaniranog zadatka u odnosu na stvarno stanje fizičkog sistema. Visok stepen interaktivnosti i automatizacija rutinskih procesa, čini da se ovakav interfejs može nazvati inteligentnim. Svojstva inteligencije obezbeđuju lakoću u korišćenju, robusnost u korišćenju i drastično ubrzanje svih aktivnosti na sintezi korigovanog plana zavarivanja. Na slikama 3, 4 i 5 prikazani su primeri izgleda multifunkcionalnog grafičkog interfejsa ostvarenog kastomizacijom SolidWorks 3D CAD modelera. Ovaj interfejs omogućava operatoru da aktivira šest funkcionalnih modula:

1. Modul konfiguratora robotske tehnološke ćelije – omogućava operatoru da izvrši izbor robota, izbor periferne opreme (standardne ili specijalne), izbor alata (standardnog ili specijalnog) i da u geometrijskom i kinematskom smislu konfigurise strukturu robotskog sistema i definiše skup pripadajućih parametara;
2. Modul za skeniranje geometrije sklopa koji se zavaruje – omogućava operatoru da u skladu sa prostornim modelom definiše zadatak skeniranja geometrije (trajektoriju kretanja robota i lokaciju diskretne ili kontinualne akvizicije podataka sa laserskog triangulacionog senzora), podešavanje moda rada laserskog triangulacionog senzora,

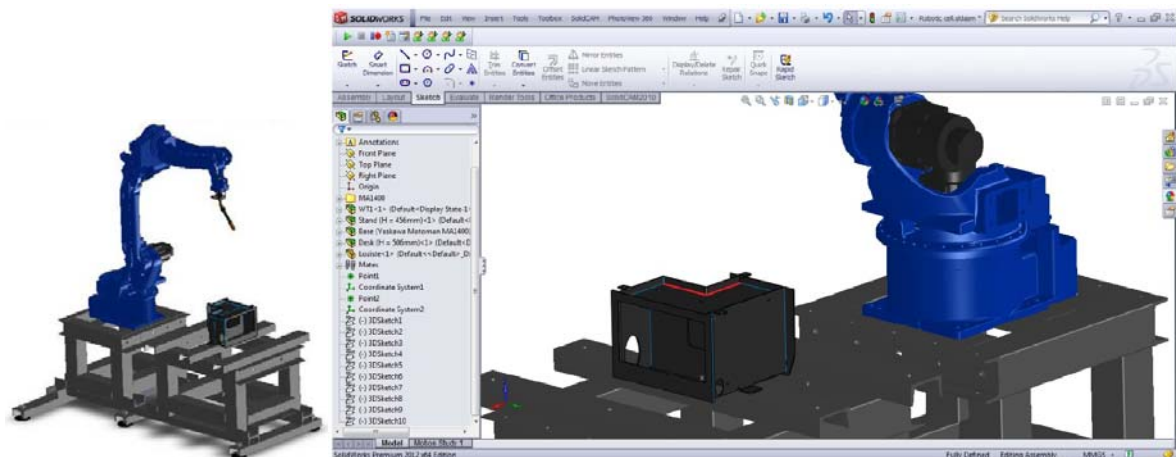
arhiviranje sekvence skeniranja i preuzimanja podataka, obrada podataka, pregled i vizuelizacija senzorskih podataka u radnom prostoru SolidWorks 3D modelera, ...

3. Modul geometrije i tehnologije – u sebi sadrži niz funkcionalnih rutina koje omogućavaju operatoru da ostvari jednostavnu interakciju sa robotom u smislu lociranja vrha robota unutar radnog prostora, izvršavanja niza kinematskih primitiva, definisanje parametara procesa zavarivanja, rad sa digitalnim ulazno/izlaznim kanalima upravljačke jedinice robota (koristi se poseban mikroprocesorski interfejs koji je razvijen u okviru projekta TR35007),...
4. Modul dokumentovanja – ostvaruje funkciju arhiviranja i pregleda svih aktivnosti koje operator sprovođi u interakciji sa robotskim sistemom;
5. Modul proračuna – ostvaruje funkciju sinteze izvršnog koda za kretanje robota na osnovu senzorskih podataka i zahteve koje imperativno nameće operator robotske ćelije (čovjek), generisani kod je kompatibilan sa YASKAWA MA1400 robotom i pamti se kao txt fajl sa ekstenzijom JBI (transfer u upravljačku jedinicu se ostvaruje preko Ethernet interfejsa);
6. Modul simulacije – omogućava operatoru da proveri sintetisane zadatke u fizičkom ili virtuelnom prostoru SolidWorks 3D modelera.

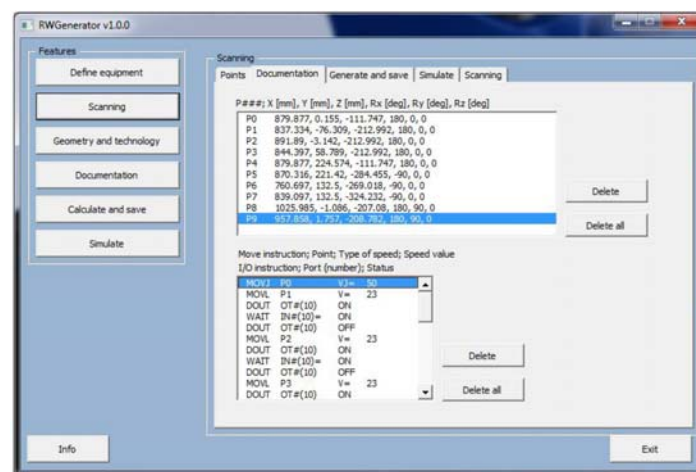
Navedeni moduli pripadaju osnovnom nivou funkcija razvijenog prototipskog interfejsa. Svaki od modula ima niže nivoe preko kojih se pozivaju prethodno navedene funkcije ovog kompleksnog interfejsa.

Suština ovog interfejsa je u tome da on ostvaruje spregu između kibernetičkog prostora koji kao svoj osnovni sadržaj ima 3D modele robotske ćelije za zavarivanje i sklopa koji se zavaruje, i fizičkog prostora u kojem se nalaze robotska ćelija i sklop koji se zavaruje, pri čemu sklop koji se zavaruje nije savršen i značajno odstupa od njemu ekvivalentnog 3D modela koji postoji kao referenca u kibernetičkom prostoru ovog kompleksnog robotskog sistema hibridnog tipa. Pored toga, suština ovog interfejsa je u tome da se sve rutinske, ali računski intenzivne aktivnosti vezane za akviziciju stvarne geometrije sklopa koji se zavaruje, obrade senzorskih informacija i kompletan skup aktivnosti koje obuhvata replaner koji generiše izvršni kod koji odgovara stvarnom, a ne nominalnom stanju sklopa koji se zavaruje u potpunosti automatizovane.

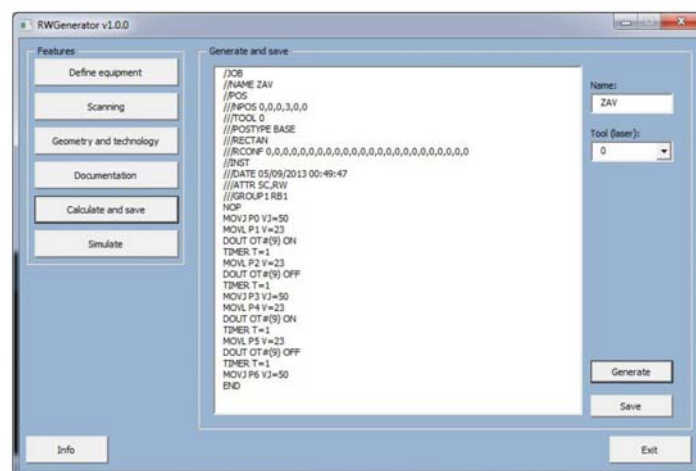
Uloga čoveka je svedena samo na upravljačke aktivnosti najvišeg nivoa, izbor željenih opcija i nadzor, odnosno proveru svih rezultata koje generiše interfejs svojim autonomnim funkcijama. Čak je i trivijalna, ali u ručnom modu kompleksna funkcija prenosa izvršnog koda u upravljačku jedinicu robota u potpunosti automatizovana (teach pendant, odnosno ručna jedinica za programiranje je nepotrebna). Na kraju, treća, ali podjednako značajna suštinska vrednost, jeste brzina, jednostavnost i intuitivnost u korišćenju ovog interfejsa, tako da njegova praktična primena ne zahteva posebno obučene, niti visokokvalifikovane operatore, a to je jedan od ključnih zahteva za širu primenu robotskih tehnologija u domenu malih i srednjih preduzeća.



Slika 3: *Izgled grafičkog interfejsa ostvarenog kastomizacijom SolidWorks 3D CAD modelera koji omogućava operatoru (čovjeku) jednostavan pristup širokom spektru tehnoloških funkcija i efektivnu interaktivnost biološkog, kibernetskog i fizičkog sistema u okviru CyberFABRICATOR platforme – Model robotske stanice i model sklopa koji se zavaruje.*

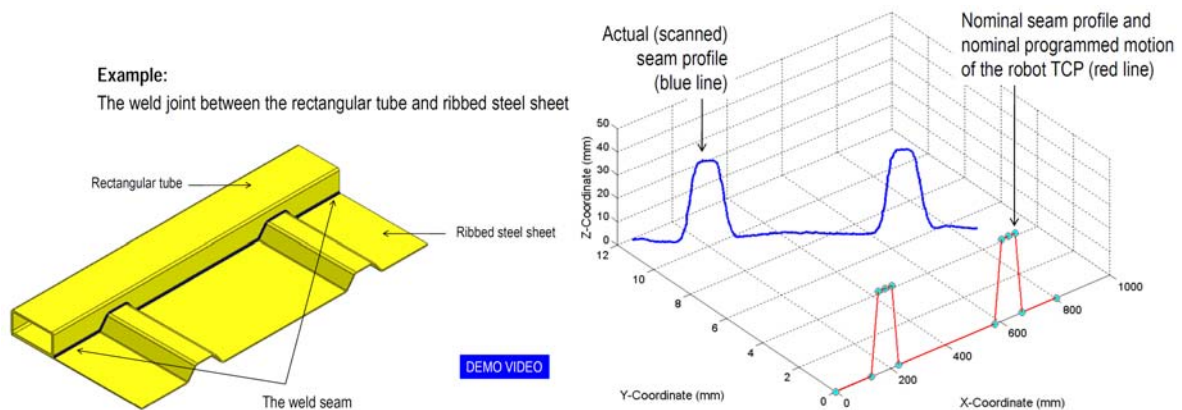


Slika 4: *Izgled grafičkog interfejsa modula za skeniranje (spregnuto sa modelom robota i sklopa koji se zavaruje) i modul proračuna, koji između ostalog vrši sintezu izvršnog koda za realno stanje geometrije sklopa koji se zavaruje (interfejs replanera).*

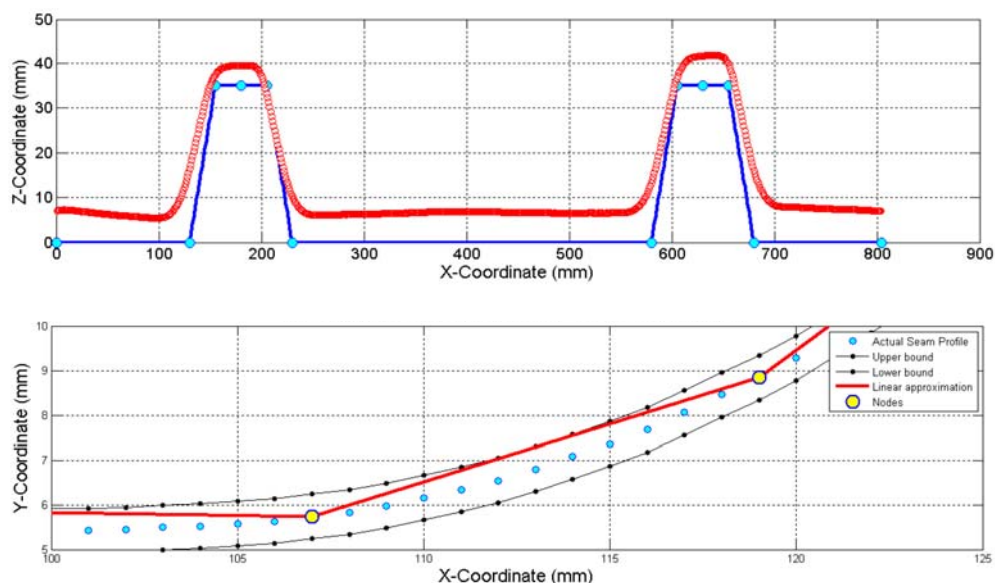


Slika 5: *Modul proračuna, koji između ostalog vrši sintezu izvršnog koda za realno stanje geometrije sklopa koji se zavaruje (interfejs replanera).*

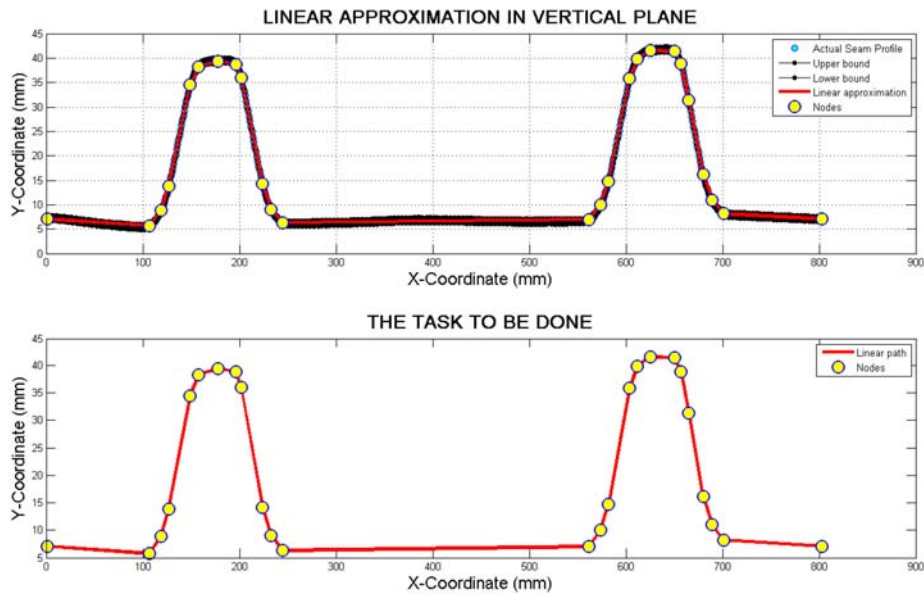
Ovo tehničko rešenje se odnosi na sledeće funkcionalne module replanera: 1) modul za postprocesiranje 3D modela sklopa koji se zavaruje generisanog triangulacijom strukturirane svetlosti, 2) modul za postprocesiranje senzorskih podataka skeniranog sklopa ostvarenog primenom tačkaste laserske triangulacije, 3) modul za sintezu linijske aproksimacije identifikovane stvarne geometrije šava koji se zavaruje, i 4) modul za automatsko generisanje i prenos izvršnog koda u upravljačku jedinicu robota YASKAWA MA1400. Na slikama 6 do 9 prikazana je funkcionalnost razvijenih modula na primeru spoja bočne stranice metalnog kontejnera iz proizvodnog programa kompanije WERNER & WEBER koji se manuelnom tehnologijom proizvodi u kompaniji VELPAN iz Kikinde (celokupna proizvodnja se plasira u izvoz!).



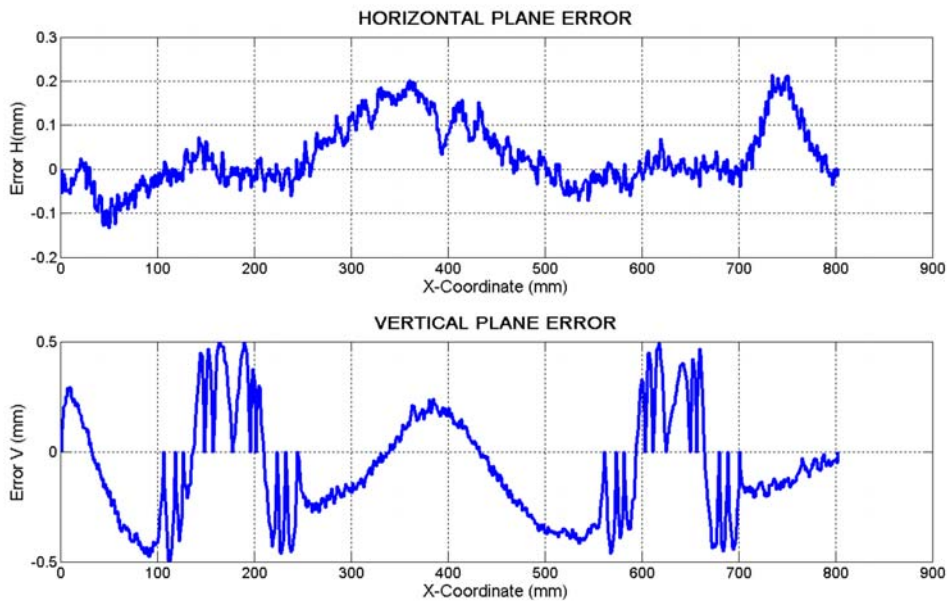
Slika 6: Primer koji ilustruje funkcije razvijenih rutina replanera obuhvaćenih ovim tehničkim rešenjem. Detalj sklopa orebrane bočne stranice metalnog kontejnera i prostorni prikaz nominalne i skenirane geometrije šava – šav je dislociran i izmenjene geometrije.



Slika 7: Grafik gore: Geometrija šava, interval $x(0,804.1 \text{ mm})$, nominalna geometrija (plava), merena geometrija redukovana na uniformnu rezoluciju od 1 mm (originalni senzorski zapis je sadržao 74592 tačke). Grafik dole: Princip rada primenjenog algoritma linearne segmentacije resemplovanog senzorskog zapisa navedenog pod (b) za uslov širine tolerancijskog polja $+0.5 / -0.5 \text{ mm}$ – polazna serija tačkaka se ovim svodi na mali skup tačkaka koje definišu linijske segmente / duži od kojih se svaka imperativno nalazi unutar tolerancijskog polja zadate širine.

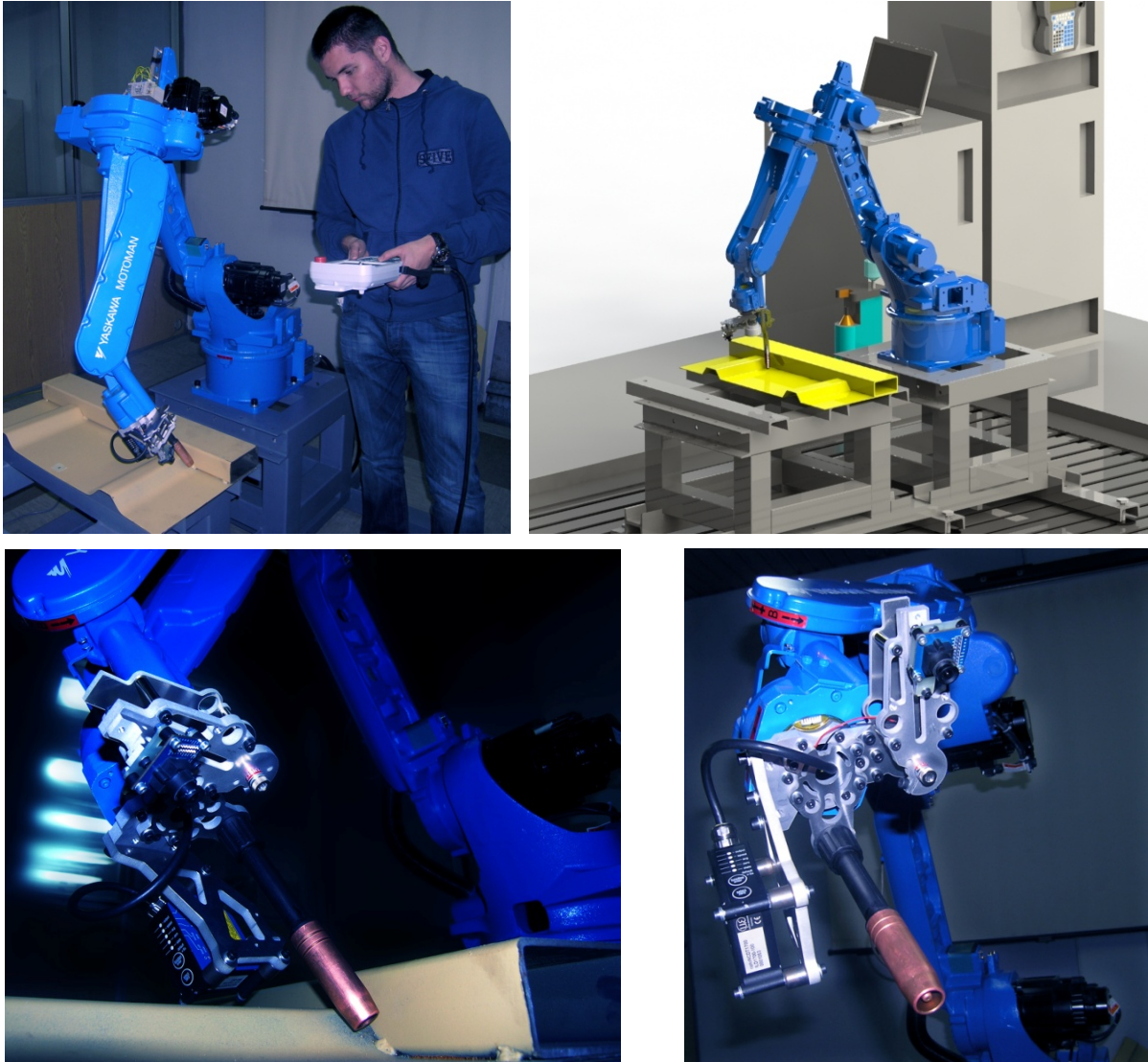


Slika 8: Rezultat linearne aproksimacije dobijen razvijenim algoritmom za brzu neiterativnu linearnu segmentaciju prostorne serije; originalni skup od 74592 merene tačke sveden je na 25 čvornih tačaka koje su međusobno povezane sa 24 linijska segmenta koji kategorički zadovoljavaju zadatu širinu tolerancijskog polja lokacije TCP robota od $+0.5$ / -0.5 mm.



Slika 9: Prikaz greške između linearno segmentirane aproksimativne trajektorije TCP i merenog profila šava pomoću laserskog triangulacionog senzora; Ovakav rezultat je u potpunosti prihvatljiv za tehnologiju elektro-lučnog robotskog zavarivanja i omogućava automatsko generisanje izvršnog koda za konkretan robotski manipulator.

Paralelno, u okviru ovog tehničkog rešenja razvijeni su i neophodni hardverski moduli pomoću kojih je ostvarena direktna komunikacija razvijenog interfejsa i replanera sa senzorskim sistemom za robotsko skeniranje geometrije i upravljačkim sistemom robota. Hardverska platforma na kojoj su sprovedene istraživačke aktivnosti prikazana je na slici 10.



Slika 17: *Eksperimentalna platforma za verifikaciju CyberFABRICATOR platforme. Fizički sistem je baziran na robotu YASKAWA MA1400 i specijalizovan za montažu zavarenih sklopova / robotsko zavarivanje, digitalizaciju geometrije zavarenog sklopa i dimenzionu metrologiju laserskom triangulacijom i triangulacijom strukturirane svetlosti. Fotografija i model prikazuju test objekat koji je kao primer razmatran na slikama 6 do 9. Donji red: detalj multifunkcionalnog modularanog sistema za veštačko gledanje i lasersku triangulaciju (tačkastu i linijsku) kao senzorska nadogradnja robota YASKAWA MA1400. Senzorski sistem je rezultat samogradnje na projektu TR35007 (inicijalna faza) i jedna je od ključnih komponenti fizičkog sistema u okviru CyberFABRICATOR platforme.*

6. ZAKLJUČAK

Tehničko rešenje: **CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja**, izvedeno je u obliku laboratorijske prototipske instalacije bazirane na robotu Yaskawa MA1400 i raspoloživom senzorskom i računarskom sistemu, kroz koncept samogradnje. Tokom 2013. godine, tehničko rešenje je instalirano u Laboratoriji za Kibernetiku i mehatronske sisteme, Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Ovo tehničko rešenje predstavlja razvojni rezultat prve faze širih istraživanja na CyberFABRICATOR platformi koja se razvija u okviru projekta TR35007. U svojoj osnovi tehničko rešenje razvijeno tokom 2013. godine predstavlja prototip čiji je osnovni cilj bio provera praktične izvodljivosti i praktične vrednosti koncepta u celini. U narednoj fazi, čija se realizacija planira za 2014. godinu, biće razvijena druga generacija ovog interfejsa u kojoj će biti otklonjeni uočeni nedostaci konceptualne i partikularne prirode i primenjen niz pozitivnih iskustava koja su stečena tokom razvoja prototipa. Takođe, ovaj interfejs će biti implementiran na novoj hardverskoj platformi, koja poseduje tehničke performanse koje će omogućiti nesmetano ostvarivanje i nekih novih funkcionalnosti, pre svega u delu unapređenja funkcije fizičke komunikacije čoveka i interfejsa, primenom tehnika virtuelne i augmentirane realnosti, kao i mogućnost integracije novih, multifunkcionalnih senzorskih modula za intenzivniju interakciju sa fizičkim sistemom (pored tačkastog laserskog triangulacionog senzora, biće primenjen linijski triangulacioni senzor i senzor veštačkog gledanja koji omogućava operatoru detaljan uvid u stanje sklopa koji se zavaruje na nivou najsitnijeg detalja i takođe, arhiviranje ovakvih video sekvenci, što ima posebnu tehnološku vrednost u slučajevima montaže visokoodgovornih sklopova ili praćenja proizvodnog procesa u jednom širem kontekstu koji obuhvata i segment proizvodnje sastavnih komponenti).

7. LITERATURA

- [1] Jovane F., Koren, Y., Boër, C.R., Present and Future of Flexible Automation: Towards New paradigms, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 52, Issue 2, Pages 543–560, 2003.
- [2] European commission, Directorate-general for research, Directorate G – Industrial technologies, FACTORIES OF THE FUTURE - PPP Strategic Multi-annual Roadmap, 2010, ISBN 978-92-79-15227-6.
- [3] Jovane, F., Westkämper, E., and Williams, D., THE MANUFUTURE ROAD - Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing, 2009, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-77011-4.
- [4] B. Joseph Pine II, Mass Customization: The New Frontier in Business Competition, Harvard Business School Press (January 1999), ISBN-10: 0875849466
- [5] Sztipanovits, J., Ying, S., Cohen, I., Corman, D., Davis, J., Khurana, H., Mosterman, P. J., Prasad, V., Stormo, L., Strategic R&D Opportunities for 21st Century Cyber-Physical Systems, Steering Committee for Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems, Workshop Report, NIST, January 2013.
- [6] YASKAWA Motoman Robotics, MA1400 Arc Welding Industrial Robot, User Manual, MA1400 June 2011.
- [7] MICRO-EPSILON, optoNCDT 1700 Intelligent Laser Optical Displacement Measurement Unit, Instruction Manual, 2008.
- [8] SolidWorks 2011: API FUNDAMENTALS – Training manual SN 24243071115 ENG 0001, Dassault Systems SolidWorks Corporation, USA.

Odlukom Naučno-nastavnog veća Mašinskog fakulteta u Beogradu br. 2683/2 od 26.12.2013. godine imenovani smo za recenzente tehničkog rešenja **CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja**, autora: prof. dr Petar B. Petrović, Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Miloš Pjević, dipl. inž. maš. Na osnovu predloga ovog tehničkog rešenja podnosimo sledeći:

IZVEŠTAJ

Tehničko rešenje: **CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja**, koje su realizovali autori: prof. dr Petar B. Petrović, dipl. maš. inž., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Miloš Pjević, dipl. inž. maš., opisano je na 10 stranica A4 formata pisanih sa 12pt singl proreda, sadrži 10 slika. Sastavljeno je od šest poglavlja i spiska korišćene literature. Naslovi poglavlja su:

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

CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja, koji su realizovali autori: prof. dr Petar B. Petrović, dipl. maš. inž., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Miloš Pjević, dipl. inž. maš., rezultat je višegodišnjih napora u domenu razvoja interaktivnih proizvodnih sistema, u smislu izgradnje inteligentnog interfejsa koji će omogućiti ostvarivanje jednostavne i efikasne interakcije između čoveka i mašinskog sistema, koristeći tehnološke informacije o proizvodu i procesu u digitalizovanom obliku. Svojstvo inteligencije podrazumeva sposobnost sistema da autonomno realizuje kompleksne rutinske zadatke i odlučuje u smislu ponude varijantnih mogućnosti operatoru koji donosi konačnu odluku. Ovaj sistem je realizovan u okviru istraživačko-razvojnih aktivnosti koje se sprovode na projektu TR 35007 sa fokusom na domen tehnologije robotizovane montaže.

U prvom poglavlju se navode osnovna razmatranja o problematici interakcije čoveka i proizvodnog sistema, sa posebnim fokusom na specifične zahteve koje u ovom smislu uvodi nova proizvodna paradigma masovne kustomizacije. Mali obim proizvodnih serija i redukovani vremenski okviri za njihovo uvođenje u proizvodnju nameću potrebu za redefinicijom pojma fleksibilnosti i u tom kontekstu, uspostavljanje novih tehnoloških platformi za efektivniju interakciju čoveka i proizvodnog sistema.

U drugom poglavlju definiše se suština problema u izgradnji interaktivnih interfejsa i u tom smislu ukupna problematika se dovodi u kontekst kibernetičko-fizičkih sistema (Cyber-Physical Systems - CPS) koji predstavljaju jedan od istraživačkih prioriteta u okviru HORIZON 2020 istraživačkog programa EU za domen proizvodnih tehnologija (prioritet 2).

U trećem poglavlju se daje kratak opis stanja tehnike u oblasti interakcije čoveka i proizvodnog sistema, navode se varijantne tehnologije, uključujući i virtuelnu realnost.

U četvrtom poglavlju se detaljno obrazlaže koncept tehničkog rešenja gde se obrazlaže novi koncept inteligentnog interaktivnog sistema za spregu biološkog, kibernetičkog i fizičkog prostora, u koji se pored konvencionalnih SCADA sadržaja uvodi i CAD sistem koji sadrži osnovne informacije o proizvodu koji se izrađuje u posmatranom tehnološkom kontekstu. Integracija CAD sistema u interaktivni interfejs predstavlja osnovu za prodor u kognitivni prostor i izgradnju varijantnih oblika inteligentnog ponašanja. Osnovu predstavlja komercijalni CAD sistem koji omogućava izgradnju specifičnih funkcionalnosti kroz API okvir.

U okviru petog poglavlja navodi se detaljan opis hardvera i softvera razvijenog rešenja CyberFABRICATOR platforme za oblast tehnologije robotskog zavarivanja. Hardverski sistem obuhvata: 1) Robotsku tehnološku celiju specijalizovanu za zavarivanje, koja je bazirana na YASKAWA MA1400 robotu, 2) upravljački sistem robota DX 100, 3) PC radnu stanicu sa odgovarajućim interfejsima i 4) senzorski sistem za akviziciju geometrijske informacije u radnom prostoru robota. Kao softversko CAD razvojno okruženje izabran je komercijalni CAD modeler SolidWorks, koji poseduje ekstenzivne API resurse za razvoj specifičnih rutina, neophodnih za ostvarivanje interaktivne funkcije između čoveka, robota, senzorskog sistema i tehnološkog zadatka. U ovom poglavlju je naveden pregled sprovedenih eksperimentalnih radnji sa ciljem da se praktično verifikuje funkcionalnost i performanse razvijenih algoritama i inteligentnog interaktivnog interfejsa u celini.


U zaključku se navodi da je ovo tehničko rešenje fizički realizovano, testirano i u svom preliminarnom obliku uvedeno u laboratorijsku primenu u okviru Laboratorije za kibernetiku i mehatronske sisteme, Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Razvijena eksperimentalna instalacija poseduje veliku praktičnu relevantnost u oblasti robotskog zavarivanja (ne samo za domaću industriju).

MIŠLJENJE

Autori tehničkog rešenja **CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja**, koji je razvijen (koncipiran, projektovan i fizički implementiran) na projektu TR 35007, su jasno prikazali kompletnu strukturu, sadržaj i upotrebnu vrednost tehničkog rešenja. Funkcionalne performanse ovog tehničkog rešenja su naprednije u odnosu na performanse sličnih sistema koji se koriste u industrijskoj praksi i u tom smislu ovo rešenje predstavlja inovativni doprinos naučnim i inženjerskim znanjima istraživačke i naučne zajednice Srbije. Sa zadovoljstvom predlažemo Naučno-nastavnom veću Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu da novorazvijeni eksperimentalni sistem: **CyberFABRICATOR inteligentni interaktivni interfejs za sisteme adaptivnog robotskog zavarivanja**, koji su realizovali autori: prof. dr Petar B. Petrović, dipl. maš. inž., Nikola Lukić, dipl. inž. maš., Ivan Danilov, dipl. inž. maš., Miloš Pjević, dipl. inž. maš., prihvati kao novo tehničko rešenje, relevantno za korpus tehnoloških znanja Srbije u oblasti industrijskih proizvodnih tehnologija.



Prof. dr Janko Hodolič, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad



Doc. dr Saša Živanović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beograd

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 2683/2
ДАТУМ: 26.12.2013.

На основу захтева проф.др Петра Петровића, бр. 2682/1 од 26.12.2013. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 26.12.2013. године, донело је следећу

О Д Л У К У

Да се за рецензенте Техничког решења рађеног у оквиру пројекта TR35007 под насловом: **„CyberFabricator интелигентни интерактивни интерфејс за системе адаптивног роботског заваривања”**, чији су аутори: проф.др Петар Петровић, Никола Лукић, дипл.инж.маш., Иван Данилов, дипл.инж.маш. и Милош Пјевић, дипл.инж., именују:

- проф.др Јанко Ходолич, Факултет техничких наука, Нови Сад
- и
- доц.др Саша Живановић.

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



ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 25/1
ДАТУМ: 16.01.2014.

На основу захтева проф.др Петра Петровића, бр. 2682/1 од 26.12.2013. године, одлуке о именовању рецензената и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 16.01.2014. године, донело је следећу

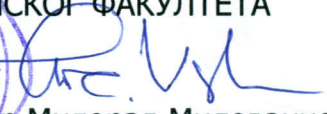
ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење рађено у оквиру пројекта ТР35007 под насловом: **„CyberFabricator интелигентни интерактивни интерфејс за системе адаптивног роботског заваривања”**, чији су аутори: проф.др Петар Петровић, Никола Лукић, дипл.инж.маш., Иван Данилов, дипл.инж.маш. и Милош Пјевић, дипл.инж., а позитивну рецензију поднели: проф.др Јанко Ходолич, Факултет техничких наука, Нови Сад и доц.др Саша Живановић.

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



ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА


Проф.др Милорад Милованчевић