

35. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS

28. simpozijum
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**



22. simpozijum
CAD/CAM

31. simpozijum
NU – ROBOTI –FTS

37. simpozijum
**UPRAVLJANJE PROIZVODNOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

15. simpozijum
MENADŽMENT KVALITETOM

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Beograd, 17-18. jun 2009.

**35. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem**

ZBORNİK RADOVA

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

El. pošta: jupiter@mas.bg.ac.yu

Tehnički urednici:

Prof. dr Petar B. Petrović

Mr Živana Jakovljević

Mr Mihajlo Popović

Beograd, jun 2009.

Tiraž: 200 primeraka

Štampa: **JO-GO Design Studio**

11000 Beograd, Višnjička 45A, tel: 011 2979 139

ISBN 978-86-7083-666-2

**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
INDUSTRIJE PRERADE METALA**
CIM IN THE STRATEGY OF TECHNOLOGICAL
DEVELOPMENT OF METALWORKING INDUSTRY

Petrović, P., Milanov, M., Nijemčević, S., Stojović, M., Spasić, Ž., Pilipović, P., Jakovljević, Ž. PRIMENA INELIGENTNIH SENZORSKOH SISTEMA U RAZVOJU INTEGRISANE AUTOMATIZACIJE REALNIH I VIRTUELNIH PROCESA PROIZVODNOG PREDUZEĆA –REKAPITULACIJA REZULTATA NA PROJEKTU MA14035.....	1.1
Radojević, Z., Stanković, R., Stojanović, D. CIM SISTEM - NEOPHODNOST DANAŠNJE PROIZVODNJE	1.12
Komadinić, V., Ilić, D. OCENA PODOBNOSTI SOFTVERSKOG PROIZVODA ZA PRIMENU U INDSTRIJSKOM PREDUZECU	1.17
Mićić, D., DONDUR, N., Spasić, Ž. PERFORMANSE INTELIGENTNOG POSLOVANJA SA INFORMACIONOM INTEGRACIJOM DIGITALNOG REDUZECA.....	1.21

← NAZAD



P.B. Petrović¹, M. Milanov², S. Nijemčević³, M. Stojović⁴, Ž. Spasić¹, M. Pilipović¹,
Ž. Jakovljević¹

**PRIMENA INELIGENTNIH SENZORSKIH SISTEMA U RAZVOJU INTEGRISANE
AUTOMATIZACIJE REALNIH I VIRTUELNIH PROCESA PROIZVODNOG PREDUZEĆA –
REKAPITULACIJA REZULTATA NA PROJEKTU MA14035**

Rezime

U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja sprovedenih u okviru prve istraživačke godine na projektu MA14035 koji zajednički realizuju Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu i kompanije Mikrokontrol iz Beograda, Ikarbus iz Beograda i FAP iz Priboja. Pored pregleda teoretskih i metodoloških sadržaja, posebna pažnja se posvećuje praktičnim izlazima ostvarenim u okviru ovog projekta u formi laboratorijskih demonstracionih instalacija na kojima su praktično verifikovani ključni inovativni sadržaji sprovedenih istraživanja. Na kraju saopštenja, navode se plan daljih istraživanja i perspektive primene ostvarenih rezultata u industrijskim uslovima, na proizvodnim linijama participanata ili u kontekstu projekata sa kompanijama koje nisu članice konzorcijuma projekta.

1. UVOD

Projekat MA 14035⁵, akronim INTOSA, je dvogodišnji projekat koji je finansijski podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za period 2008-2010. godina. Na ovom projektu učestvuje Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Katedra za proizvodno mašinstvo, u svojstvu nosioca istraživačko-razvojnih aktivnosti i koordinatora projekta, kompanija Mikrokontrol iz Beograda, u svojstvu korisnika istraživanja i tehnološke podrške u delu industrijske automatizacije, informacionih tehnologija i tehnologija optoelektronskih sistema za dimenzionu metrologiju, i kompanije IKARBUS iz Beograda i FAP iz Priboja kao korisnici istraživanja koji dolaze iz domena industrije prerade metala. Projekat je tako komponovan da u minimalnom obimu sadrži sve ključne elemente modela jednog savremenog istraživačkog projekta, kakav se primenjuje u Evropskoj uniji, a posebno u okviru FP7 okvirnog programa. Konzorcijum sadrži jednu istraživačko-razvojnu instituciju koja je locirana u edukacionom segmentu, dve velike korporacije koje poseduju potrebne kvantitativne resurse za značajna tehnološka istraživanja i implementaciju rezultata istraživanja, i jednu kompaniju iz domena malih i srednjih preduzeća, koja je po pravilu pokretač inovacionih aktivnosti iz oblasti novih tehnologija.

Projekat pored konzorcijuma, poseduje i Poslovnu interesnu grupu, koju čini klaster kompanija iz oblasti koje direktno ili indirektno gravitiraju tematskim ciljevima projekta i koje su u poslovnom smislu zainteresovane za rezultate projekta kao budući korisnici, ili kao tehnološka baza za praktičnu realizaciju istraživačkih i demonstracionih aktivnosti.

U cilju postizanja efikasne komunikacije između članica konzorcijuma, i u cilju obaveštavanja stručne javnosti o rezultatima i aktivnostima projekta, kao i različitim oblicima diseminacije rezultata projekta, koristi se Internet kao opšta tehnička platforma, na kojoj je izgrađen sajt projekta sa širokim spektrom servisa i modula za razmenu informacija (<http://master.mas.bg.ac.yu/ma14035>).

¹ Prof. dr Petar B. Petrović, Prof. dr Žarko Spasić, Prof. dr Miroslav Pilipović, Mr Živana Jakovljević, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija; e-mail: pbpetrovic@mas.bg.ac.rs

² Mile Milanov, dipl. ing., Vase Pelagića 30, 11000 Beograd, Srbija

³ Dr Srećko Nijemčević, dipl. ing., Autoput 24, 11000 Beograd, Srbija

⁴ Mirko Stojović, dipl. ing., FAP korporacija, Radnicka bb, 31330 Priboj, Srbija, e-mail: generalnidirektor@fap.co.rs

⁵ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja se sprovode na projektu MA14035: **Primena inteligentnih senzorskih sistema u razvoju integrisane automatizacije realnih i virtuelnih procesa proizvodnog preduzeća - INTOSA**, koji finansijski podržava Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

2. SADRŽAJ ISTRAŽIVANJA I CILJEVI

Projekat INTOSA ima za predmet istraživanja aplikativne aspekte posebne klase senzorskih sistema koji su bazirani na simbiozi optičke tehnologije, digitalne elektronike i savremene tehnologije inteligentnih informacionih sistema. Ovakvi sistemi pokrivaju jedan vrlo širok spektar primena u domenu proizvodnih tehnologija, koje se prostiru od dimenzione metrologije, pa do sistema veštačkog gledanja i prepoznavanja oblika kao jedne od ključnih generičkih tehnologija na kojoj se gradi koncept inteligentnih tehnoloških sistema.

Ideja o pokretanju ovog projekta proistekla je iz uočenih potreba sistemskog rešavanja problema koji su pratili desetogodišnji program razvoja i proizvodnje mernih sistema baziranih na laserskim triangulacionim senzorima za merenje geometrijskih veličina na proizvodnim linijama u oblasti industrije prerade elastomera, koji je u saradnji sa kompanijom Informatika a.d. iz Beograda realizovan u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Primarni naučno-istraživački i razvojno-aplikativni cilj: uspostavljanje jedne istraživačko-razvojne jedinice u okviru Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, koja će sistematskim istraživačkim aktivnostima i njihovom praktičnom verifikacijom kroz izgradnju odgovarajućih demonstracionih instalacija, ovladati generičkim znanjima iz domena digitalne optičke tehnologije i omogućiti transfer tih znanja u domaću industriju sa ciljem masovne primene ove tehnologije u oblasti automatizacije proizvodnih procesa.

Posebni naučno-istraživački ciljevi projekta su sledeći: 1) Sistematska identifikacija stanja i prepoznavanje osnovnih trendova razvoja tehnologije optičkih senzorskih sistema i primene tih sistema u domenu automatizacije proizvodnih procesa; 2) Istraživanje i sistematizacija specifičnih tehnologija vezanih za hardverske aspekte primene optičkih senzorskih sistema u realnim industrijskim uslovima – identifikacija specifičnih zahteva i sa tim povezanih odgovarajućih procedura za kontrolu osvetljenosti scene, refleksija, kontaminacije optičkog puta i drugih poremećaja ambijenta u kome se primenjuju optički senzori; 3) Razvoj specifičnih procedura i algoritama primarne obrade senzorskih signala primenom diskretne vejevlet transformacije, kao i istraživanje uslova efikasne primene vejevlet transformacije u realnom vremenu; 4) razvoj novih algoritama za statističku obradu nekompletnih vremenskih serija primenom pristupa robusne statističke karakterizacije površi; 5) Razvoj novih algoritama za prepoznavanje oblika u realnom vremenu primenom neiterativnih algoritama fazi i neuro-fazi klasterovanja; 6) Istraživanje metroloških aspekata primene optičkih senzorskih sistema u dimenzionoj metrologiji na proizvodnim linijama; 7) Istraživanje specifičnih aspekata primene tehnologije virtuelnih proizvodnih sistema na domen gradnje metroloških sistema baziranih na optičkim senzorima – sinteza i simulacija automatskih mernih stanica i robotizovanih sistema sposobnih da komuniciraju sa okruženjem korišćenjem optičke povratne sprege; 8) Razvoj modela interakcije Univerzitet – Industrija u delu treninga i edukacije inženjera i osavremenjivanje njihovih znanja primenom multimedijjskih Internet tehnologija obrazovanja na daljinu; 9) Izgradnja demonstracionih instalacija i test stolova za praktičnu eksperimentalnu verifikaciju istraživačkih rezultata projekta; 10) Saopštavanje rezultata istraživanja stručnoj i naučnoj javnosti u formi stručnih i naučnih radova izloženih na domaćim ili međunarodnim konferencijama, ili publikovanim u odgovarajućim časopisima.

3. PREGLED OSNOJNIH REZULTATA SPROVEDENIH ISTRAŽIVANJA

Pregled rezultata koji su ostvareni kroz istraživačke aktivnosti na projektu u toku prve istraživačke godine navodi se po fazama sadržanim u planu realizacije projekta. Materijal koji se ovde navodi preuzet je u delovima iz godišnjeg izveštaja [1], koji je rukovodilac projekta podneo Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za tekuću istraživačku godinu.

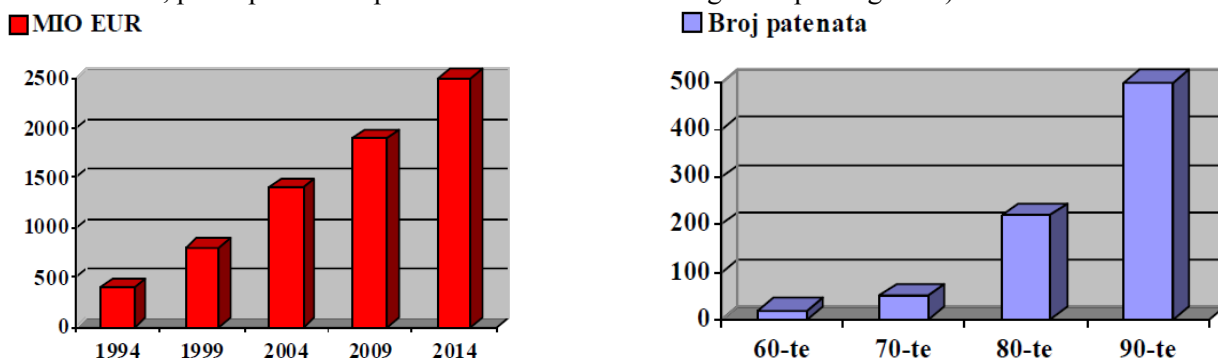
3.1 Faza realizacije 1 / aktivnost 1: Identifikacija stanja i sistematizacija

Ovo je inicijalna istraživačka aktivnost u okviru projekta MA14035 INTOSA koja je imala za cilj da sagleda postojeće stanje stvari u oblasti tehnologije optičkih senzorskih sistema sa aplikativnog aspekta, odnosno primene ove tehnologije u domenu automatizacije proizvodnih procesa sa dva osnovna zadatka: 1) postojeće stanje tehnologije i trendovi razvoja i 2) sistematizacija hardverskih aspekata.

U okviru prvog zadatka razmatrana su dva osnovna konteksta: 1) stanje i trendovi razvoja na globalnom nivou i 2) stanje u domaćoj privredi.

Stanje i trendovi razvoja na globalnom nivou: Odgovor na stalno rastuće zahteve geometrijske kontrole kvaliteta proizvoda na proizvodnim linijama su digitalne optičke tehnologije, koje čine generičku osnovu novih senzorskih i metroloških sistema koji se intenzivno integrišu sa proizvodnim tehnologijama. Prema studiji koja je sprovedena od strane *Opto-Electronics Industry Development Association* [2], utvrđen

je ekstremno brz trend razvoja optičkih senzorskih sistema i optičke metrologije. Tržište optoelektroničkih senzorskih sistema je u periodu od 1994. do 2004. godine sa 0.4 milijarde dolara poraslo na 1.4 milijardi dolara, pri čemu se predviđa dalji intenzivni rast, tako da 2014. godine tržište optoelektroničkih proizvoda dostigne preko 2.5 milijardi dolara. Intenzivni rast prisutan je u delu istraživanja i razvoja gde se, mereno brojem patenata, oblast optoelektroničkih proizvoda razvija vrlo brzo (od nešto manje od 50 patenata tokom sedamdesetih, pa do preko 500 patenata tokom devedesetih godina prošlog veka).



Slika 1: Trendovi razvoja senzorskih sistema baziranih na digitalnim optičkim tehnologijama.

Oblast senzorskih sistema baziranih na digitalnim optičkim tehnologijama koja se razmatra u okviru ovog projekta, može se klasifikovati u dve osnovne grupe: 1) Optički senzorski sistemi za dimenzionu metrologiju, i 2) Optički senzorski sistemi za veštačko gledanje (*vision systems*).

U prvu grupu spadaju senzori bazirani na laserskim poluprovodničkim diodama, snage do 20mW, koje zrače u vidljivom ili infracrvenom delu spektra. Mada postoji veliki broj konstruktivnih varijanti, mogu se izdvojiti tri osnovne varijante koje su danas dominantne na tržištu dimenzione metrologije. To su: 1) senzorski sistemi bazirani na principu optičke triangulacije, 2) konfokalni sistemi bazirani na spektralnoj devijaciji polihromatske svetlosti i 3) sistemi bazirani na zasenjivanju optičke zavese. Triangulacioni sistemi su najmasovnije zastupljeni i sreću se u obliku jednostruke, dvostruke i cirkularne triangulacije, sa tačkastim ili linijskim oblikom laserskog snopa. Po pravilu su difuzno reflektivnog tipa, sa mernim opsegom koji se kreće od dela milimetra do nekoliko metara. Bitna osobina ovih senzorskih sistema je ta da oni beskontaktno mere rastojanje do objekta i da poseduju mogućnost projekcije mernog opsega.

Drugu grupu optičkih senzorskih sistema čine senzori veštačkog gledanja koji su bazirani na primeni savremenih CCD ili CMOS tehnologija. Ovakvi sistemi su danas široko prisutni u delu hardvera. U delu softvera, situacija je značajno drugačija. Sistemi veštačkog gledanja u svojoj osnovi imaju segment koji se odnosi na kondicioniranje signala i analizu slike, i segment koji se odnosi na prepoznavanje oblika. Prepoznavanje oblika je ključni sadržaj i nosilac je onoga što je osnovna odlika svakog sistema za veštačko gledanje.

Stanje u domaćoj privredi: Optički senzorski sistemi i njihova primena u industriji na zadacima automatizacije proizvodnih procesa ima duboke korene. Osamdesetih i početkom devedesetih godina prošlog veka u Srbiji su postojale akademske institucije koje su se intenzivno bavile istraživanjima u domenu dimenzione metrologije i robotike. U okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, sprovedena su višegodišnja sistematska istraživanja u ovoj oblasti kroz veći broj projekata koji su realizovani u okviru Laboratorije za robotiku i Laboratorije za automatizaciju proizvodnih procesa. Slična istraživanja su se odvijala u okviru Instituta Mihajlo Pupin, takođe u okviru Laboratorije za robotiku koja je po svom doprinosu teoriji projektovanja robotskih sistema bila referentna u svetskim razmerama, kao i na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, Institutu za fiziku, a takođe i na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Domaća industrija je pratila razvoj u delu istraživanja, pa su osamdesetih godina u okviru LOLA Korporacije, a kasnije i u okviru LOLA instituta, realizovani prvi industrijski roboti, a zatim i prvi industrijski sistemi za analizu slike, koji su uspešno implementirani na konkretnim zadacima automatizacije proizvodnih procesa u domaćoj industriji. Početak oporavka domaće ekonomije nametnuo je potrebu šire primene novih tehnologija u automatizaciji proizvodnih procesa i u tom kontekstu revitalizuje se sektor robotike, ali sada sa novim učesnicima i u novom ambijentu. U okviru sprovedenih istraživanja, tokom 2008. godine sistematski su analizirane aktivnosti domaće industrije u oblasti automatizacije proizvodnih procesa i identifikovane su 3 privatne kompanije iz domena srednjih i malih preduzeća koje deluju u oblasti robotike, pre svega kao sistem integratori. Značajno veći broj kompanija, koje su sve bez izuzetka iz domena malih i srednjih preduzeća, deluje u oblasti industrijske automatizacije ali van oblasti robotike. Najmanje 10 kompanija u svojim poslovnim aktivnostima intenzivno primenjuje optičke senzorske

sisteme za domen dimenzione metrologije. Centralni problem u primeni optičkih senzora u segmentu dimenzione metrologije ili veštačkog gledanja su obrada i interpretacija signala koje generiše senzor, odnosno optičko električni pretvarač.

U okviru drugog zadatka koji se odnosi na sistematizaciju hardverskih aspekata senzorskih sistema baziranih na digitalnim optičkim tehnologijama razmatrani su isključivo u kontekstu analize specifični aspekti primene ove tehnologije u industrijskim uslovima i sagledavanja trenutnog stanja tehnologije u delu osvetljenja scene, refleksija i kontaminacije optičkog puta, u zavisnosti od vrste optičkog senzora i karakterističnih klasa zadataka njihove primene. Aspekti koji se odnose na projektovanje hardvera optičkih senzora nije bila predmet istraživačkog interesovanja ovog projekta.

3.2 Faza realizacije 1 / aktivnost 2: Nove procedure primarne obrade senzorskih signala

Ovo je jedna od ključnih istraživačkih celina koje su obrađivane u okviru projekta MA14035 INTOSA. Centralni problem u primeni optičkih senzora u segmentu dimenzione metrologije ili veštačkog gledanja su obrada i interpretacija signala koje generiše senzor, odnosno optičko električni pretvarač.

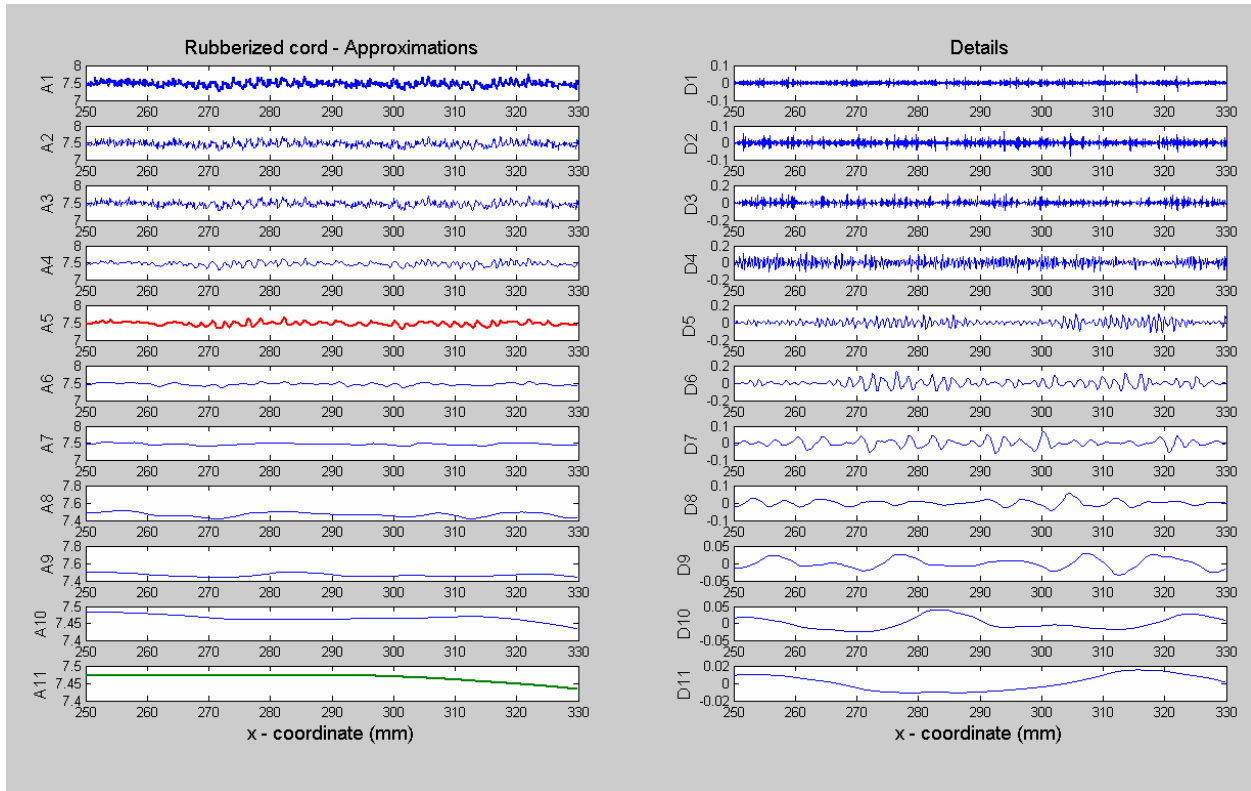
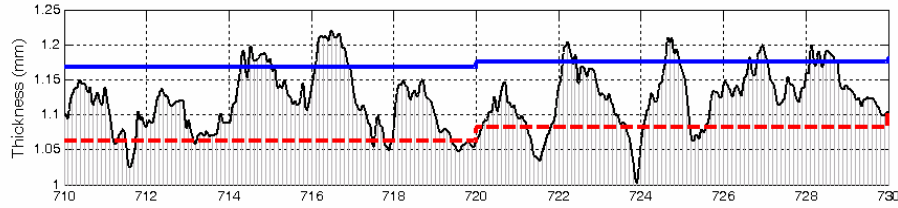
U okviru ovog projekta istraživački naponi su bili fokusirani u pravcu primene jedne nove tehnike obrade signala koja je bazirana na vejevlet transformaciji (WT). Naime, FT kao klasična metoda digitalne obrade signala, ima samo frekventnu, ali ne i vremensku rezoluciju. Međutim, u realnosti signali su najčešće nestacionarni – njihove spektralne komponente se menjaju u vremenu ili prostoru. Za analizu ovakvih signala pogodna je vejevlet transformacija koja signal opisuje superpozicijom elementarnih gradivnih blokova – vejevleta. Ono što ih čini posebnim jeste da mogu biti definisani na konačnom vremenskom intervalu što omogućuje dobru vremensku lokalizaciju signala. Pored toga, mogu imati izuzetno nesimetrične oblike, pa su pogodni za analizu signala sa oštrim promenama u vremenu ili prostoru (kao što su npr. ivice na slici). Postoje dve vrste WT kontinualna CWT i diskretna DWT. CWT ima bolju rezoluciju u vreme frekvencija prostoru, ali njeno izvođenje zahteva obimna izračunavanja koja nisu pogodna za primenu u realnom vremenu. DWT je koncipirana tako da istovremeno ima veliku vremensku rezoluciju na visokim frekvencijskim sadržajima i veliku frekvencijsku rezoluciju na niskim frekvencijskim sadržajima, što je izuzetno značajno u većini slučajeva potreba primarne obrade senzorskih signala. Multirezolucijska analiza (MRA) daje brz hijerarhijski algoritam za izvođenje DWT i čini je izrazito pogodnom za rad u realnom vremenu. Za potrebe analize slike (dvodimenzionog signala) razvijena je dvodimenziona DWT koja se zasniva na sukcesivnoj jednodimenzionoj DWT vrsta i kolona matrica slike. DWT je izuzetno pogodna za detekciju ivica na slici koje predstavljaju naglu promenu u prostoru. Detektovane ivice dalje omogućuju formiranje kontura i segmentiranje slike na konačan broj objekata, što je polazna osnova za prepoznavanje oblika.

Druga grupa istraživačkih napora bila je fokusirana na slučaj rekonstrukcije nekompletnih vremenskih serija. Laserski senzori imaju prirodnu tendenciju generisanja nevalidnih rezultata merenja u slučajevima neadekvatnih optičkih svojstava površine objekta koji se skenira, ukoliko postoje geometrijske prepreke koji formiraju senku, ili ukoliko orijentacija površine koja se skenira značajno odstupa od ortogonalnosti u odnosu na emitovani laserski snop svetlosti. Nekompletnost vektora generisanih senzorskih signala onemogućava primenu gotovo svih tradicionalnih tehnika obrade signala, uključujući DFT, STFT, DWT, ... kao i sve tehnike digitalnog filtriranja. Prethodna istraživanja koja su realizovana u teoretskom domenu i praktično implementirana na projektima laserskih mernih sistema za potrebe industrije prerade elastomera, [3] i [4], rezultovala su postavku jedne sasvim nove i originalne metode bazirane na statističkoj karakterizaciji površi skeniranog objekta. Ova metoda je finalizirana u okviru ovog projekta u teorijskom smislu i detaljno eksperimentalno verifikovana (slika 3).

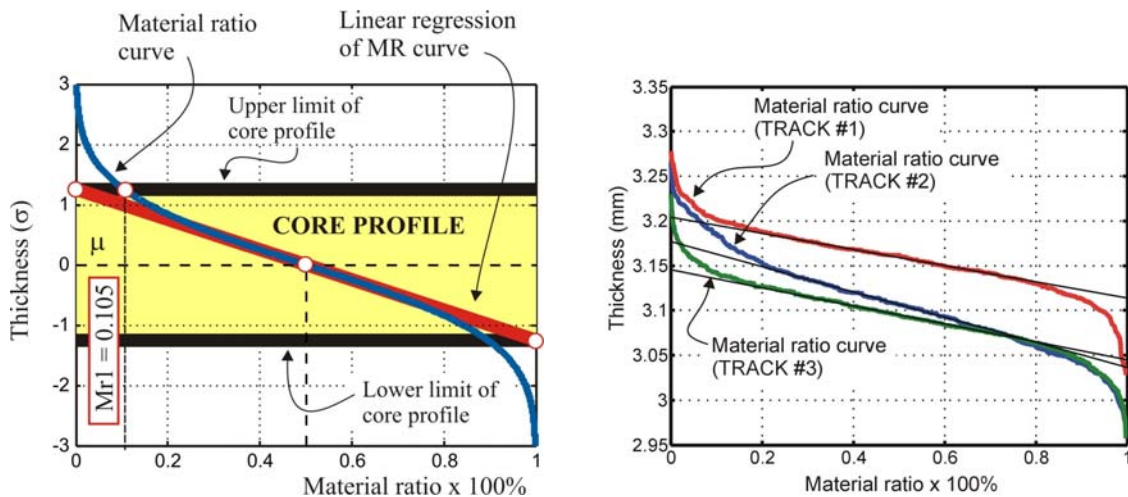
U delu interpretacije primarno obrađenih senzorskih signala započeta su i delimično realizovana istraživanja koja su usmerena u dva osnovna pravca. Prvi se odnosi na razvoj odgovarajućih tehnika aproksimacije prostornog ili linijskog oblaka tačaka nekim ravanskim ili prostornim geometrijskim primitivom i sintezu ukupnog geometrijskog modela skeniranog objekta u nekom od standardnih grafičkih editora (SOLIDWORKS, CATIA, PROENGINEER, ...). Ova istraživanja imaju direktnu primenljivost na demonstracionoj instalaciji za robotsko lasersko skeniranje kompleksnih geometrijskih prostornih formi. Drugi istraživački pravac se odnosi na istraživanja u domenu sistema veštačkog gledanja, gde je posebna pažnja usmerena na problem prepoznavanja oblika, odnosno razvoj inteligentnih algoritama za analizu slike, kao digitalizovane ravanske ili prostorne scene registrovane optičkim senzorom.

U delu istraživanja koja se odnose na razvoj inteligentnih algoritama za analizu slike, istraživački naponi bili su fokusirani na razradi neiterativnih metoda za klasterovanje vektora oblika. Istraživanja koja su sprovedena u više navrata kroz magistarske i doktorske disertacije koje su realizovane na Mašinskom

fakultetu, rezultovala su razvojem jedne nove neiterativne metode bazirane na primeni fazi logike i aproksimativnog zaključivanja. Ova metoda je tako koncipirana da se broj fazi klastera ne definiše kao



Slika 2: Primer skenirane površine gumiranog tekstilnog korda i dekompozicije senzorskog signala u vremenskom domenu na 11 fazno korektnih nivoa primenom DWT transformacije.



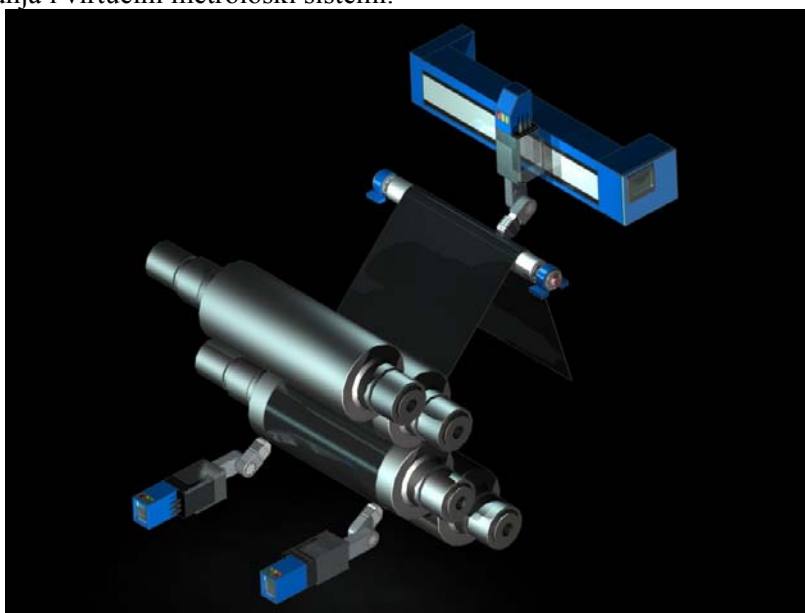
Slika 3: Statistička karakterizacija laserski skenirane teksture površi primenom razvijene metode za izvođenje informacije o ekvivalentnoj debljini gumiranog korda za proizvodnju visokoperformansnih pneumatika (levo: teoretski model, desno: realna merenja).

apriorna veličina, već su umesto toga uspostavljeni opšti parametri kompaktnosti klastera i parametri separacije klastera. Ovakvim pristupom se omogućava drastično ubrzanje procesa klasifikacije, što je od izuzetnog značaja za praktičnu upotrebljivost u sistemima veštačkog gledanja koji se koriste u okviru robotskih sistema. Proces interakcije robota sa okolinom u lokalnoj povratnoj sprezi po senzoru veštačkog

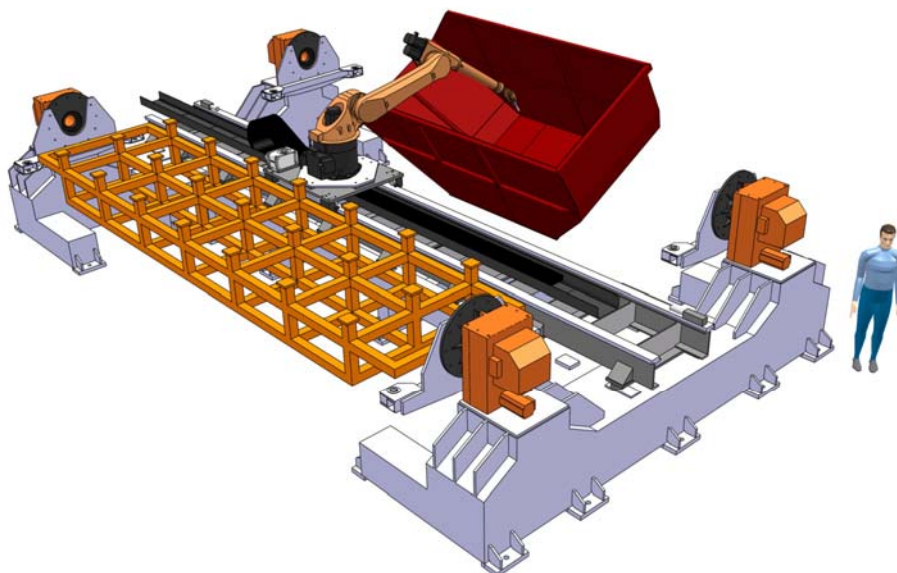
gledanja se tako deli na dva podprocesa, jedan koji je relativno spor i odnosi se na identifikaciju prototipova klastera i jedan koji je vrlo brz, čija je vremenska baza reda veličine vremenske baze regulacionih petlji regulatora servo aktuatora ili manja, koji se koristi za apriornu klasifikaciju kontinualno generisanih vektora oblika u odnosu na poznati skup prototipova klastera. U okviru ovog projekta razmatrana je primene ove metode u okviru sistema za robotizovano zavarivanje i to u delu interakcije robota sa njegovim okruženjem sa ciljem eliminacije širokog spektra grešaka geometrije sklopa koji se zavaruje i njegove pozicije u prostoru, koje su invarijantna svakog tehnološkog sistema za zavarivanje u većoj ili manjoj meri.

3.3 Faza realizacije 1 / aktivnost 3: Optički metrološki sistemi

Istraživanja su grupisana u dve osnovne celine: 1)metrološki aspekti primene optičkih senzorskih sistema i 2)virtuelna proizvodnja i virtuelni metrološki sistemi.



Slika 4: Opšti virtuelni model laserskog mernog sistema za skeniranje geometrije gumiranog korda na liniji za kalandriranje (proizvodnja automobilskih pneumatika). Metrološki sistem je modeliran kao aktivni prostorni sistem sa animacijom kretanja i simulacijom osnovnih funkcionalnih svojstava.



Slika 5: Virtuelni model sistema za robotsko zavarivanje velikogabaritnih sklopova kompleksne geometrije. Pored geometrijskog modela objekta koji se zavaruje, kinematskog modela manipulacionog robota, izgrađen je i virtuelni modul za zavarivanje u okviru CATIA CAD paketa. Navedeni primer odnosi se na sistem za zavarivanje koji je koncipiran u okviru Studije izvodljivosti radene za kompaniju VELPAN, Kikinda (četvrti kvartal 2008. godine).

Metrološki aspekti primene optičkih senzorskih sistema: Prateći potrebe članica konzorcijuma i tekućih projekata sa industrijom istraživanja po ovoj temi bila su usmerena na aplikativne aspekte pretvaranja generisanih senzorskih signala u metrološki validne informacije na osnovu kojih će biti omogućeno donošenje odluka o toku procesa unutar jednog proizvodnog sistema. Konkretno, razmatrane su procedure primene laserskih triangulacionih senzora sa jednostrukom triangulacijom u okviru sistema za robotizovano zavarivanje.

Virtuelna proizvodnja i virtuelni metrološki sistemi: Virtuelna proizvodnja, koncept primene kompjuterskih tehnologija u projektovanju i proizvodnji je prihvaćen od niza industrija u toku 1990.-ih godina i posebno razvijan za automobilsku industriju. U prethodnim istraživanjima u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu definisan je model virtuelne proizvodnje sa nizom podsistema razvijanih za potrebe domaće industrije. U okviru ovog projekta, sprovedena istraživanja su fokusirana na dalji razvoj koncepta virtuelne proizvodnje sa integracijom novog podsistema – virtuelnim metrološkim sistemom. Izgrađeni su virtuelni metrološki modeli za dva konkretna slučaja primene laserskih triangulacionih senzora: 1)skeniranje poprečnog preseka gumiranog korda na linijama za kalandriranje u industriji proizvodnje automobilskih pneumatika i 2)skeniranje geometrije šava i izgradnja veirtuelnog modela elektrolučnog zavarivanja u okviru robotizovane tehnološke ćelije za automatsko zavarivanje kompleksnih velikogabaritnih zavarenih sklopova.

3.4 Faza realizacije 2 / aktivnost 1: Projekat i realizacija demonstracione instalacije

Jedan od ključnih istraživačkih aspekata projekta MA14035 INTOSA odnosi se na izradu odgovarajućih test stolova i demonstracionih instalacija. Njihov cilj je da se izvrše praktične provere kritičnih teorijski razvijenih procedura (deo sistema menadžmenta rizika projekta koji treba da na vreme prepozna potencijalne probleme i obezbedi mehanizam njihovog korigovanja u hodu) i da se dokaže praktična upotrebljivost razvijenih rešenja u laboratorijskim i/ili industrijskim uslovima. Razvijene su i realizovane tri laboratorijske eksperimentalne instalacije: Eksperimentalna instalacija 1- Laboratorijska instalacija za robotizovano lasersko skeniranje velikogabaritnih delova kompleksne geometrije, Eksperimentalna instalacija 2- Laboratorijska instalacija za lasersko skeniranje malih delova kompleksne geometrije i Eksperimentalna instalacija 3- Laboratorijska instalacija za ultrabrze sisteme kontrole geometrijskih karakteristika proizvoda primenom visokorezolutnih industrijskih sistema veštačkog gledanja.

Navedene laboratorijske instalacije realizovane su: 1)rekonfiguracijom postojeće opreme, 2)nabavkom nove opreme, 3)participacijom u opremi, radu i materijalu članica konzorcijuma i 4)pozajmicama od kompanija iz industrije. Dalje se navodi opis ovih instalacija.

EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA 1: Laboratorijska instalacija za robotizovano lasersko skeniranje delova kompleksne geometrije (slika 6).

U cilju verifikacije razvijenog koncepta beskontaktnog visokopreciznog skeniranja srednjegabaritnih i velikogabaritnih delova kompleksne geometrije primenom laserskih triangulacionih senzora i manipulacionih robota na industrijskim proizvodnim linijama, razvijena je eksperimentalna instalacija u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu. Sistem se sastoji iz: 1)manipulacionog robota antropomorfne konfiguracije sa 6 stepeni slobode nosivosti 10 kg i dohvata 1600 mm, 2)laserskog triangulacionog senzora mernog opsega od 70 do 170 mm, brzine uzorkovanja 2500 Hz i rezolucije 0.001 mm, 3) granitnog stola visoke preciznosti sa odgovarajućim postoljem za potiskivanje visokofrekventnih i seizmičkih vibracija, 4)prateći pribor za integraciju mehaničkog sistema, 5)akvizicioni sistem za prikupljanje podataka sa laserskog senzora i manipulacionog robota + primarna obrada i vizuelizacija i 6)interaktivni terminal za komunikaciju čovek-mašina. Tehničke mogućnosti: Razvijena i realizovana instalacija omogućava sprovođenje ekstenzivnih eksperimentalnih istraživanja i evaluacije koncepta robotizovanog laserskog skeniranja za industrijske aplikacije u delu dimenzione metrologije na proizvodnim linijama u automobilskoj industriji, reverznom inženjerstvu i kompenzacije geometrijske nesavršenosti pripremake u okviru robotizovanih sistema za elektrolučno zavarivanje. Realizatori: Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu. Korisnici: članice konzorcijuma projekta, Kolubara-Metal Vreoci, Velpan Kikinda, Zastava kovačnica, Robotakt Valjevo.

EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA 2: Laboratorijska instalacija za lasersko skeniranje malih delova kompleksne geometrije (slika 7).

U cilju verifikacije razvijenog koncepta beskontaktnog visokopreciznog skeniranja malih delova kompleksne geometrije primenom laserskih triangulacionih senzora, realizovana je u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu eksperimentalna instalacija bazirana na 3-d manipulacionom

Dekartovom servo-sistemu. Sistem se sastoji iz: 1)3-d platforme sa Dekartovom konfiguracijom, sa dve servopogonjene ose i jednom pneumatski pogonjenom diskretnom osom; veličina radnog prostora 300x420x150 mm, 2)laserskog triangulacionog senzora mernog opsega od 70 do 170 mm, brzine uzorkovanja 2500 Hz i rezolucije 0.001 mm i opcionog laserskog triangulacionog senzora mernog opsega od 30 do 50 mm, sa brzinom uzorkovanja od 1000 Hz i rezolucijom od 0.001 mm, 4)prateći pribor za integraciju mehaničkog sistema, 5)akvizicioni sistem za prikupljanje podatka sa laserskih senzora + primarna obrada i vizuelizacija i 6)interaktivni terminal za komunikaciju čovek-mašina.

Tehničke mogućnosti: Razvijena i realizovana instalacija omogućava sprovođenje ekstenzivnih eksperimentalnih istraživanja i evaluacije koncepta visokorezolutnog laserskog skeniranja prvenstveno za domen aplikacija u reverznom inženjerstvu. Realizatori: Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu i kompanija Mikrokontrol. Korisnici: Članice konzorcijuma projekta.



Slika 6: Fotografije Laboratorijske instalacije 1 u fazi probnog rada, podešavanja i provere funkcionalnosti instaliranih modula.

EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA 3: Laboratorijska instalacija za sisteme kontrole geometrijskih karakteristika proizvoda primenom ultrabrzih visokorezolutnih sistema veštačkog gledanja (slika 8).

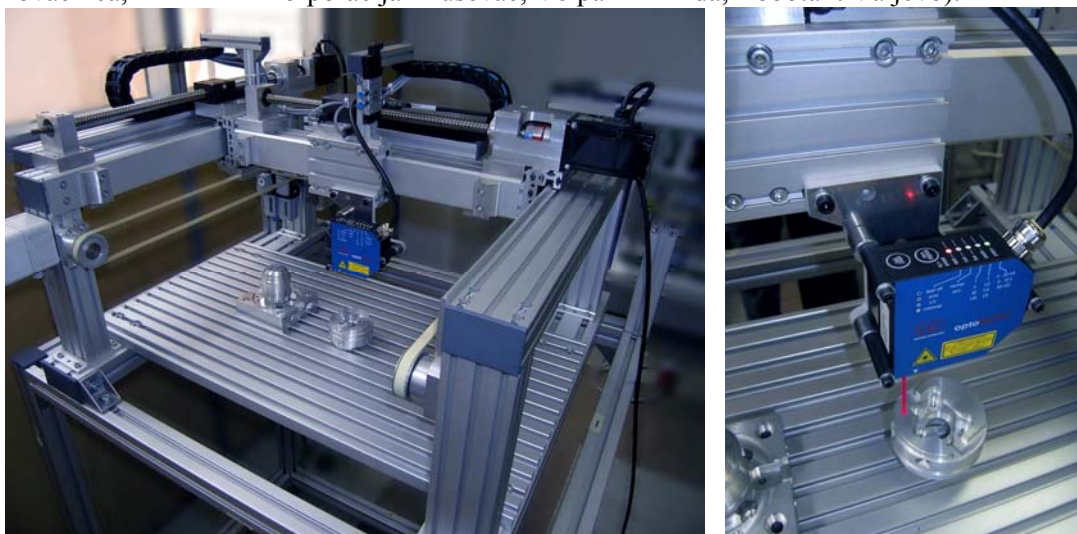
Opis: U cilju verifikacije koncepta ultrabrzog sistema za analizu slike i prepoznavanje oblika u realnom vremenu na proizvodnim linijama u industrijskim uslovima, realizovana je odgovarajuća eksperimentalna instalacija u okviru Centra za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu. Sistem se sastoji iz: 1)Specijalnog akvizicionog računara za četiri kanala za prihvatanje senzorskih signala koje generišu CCD kamere, 2)Dve CCD kamere sa ekspozicijom od 1/20000 sec, odgovarajućim optičkim sistemima i inteligentnim modulima za osvetljavanje scene, 3)Obrtnog stola sa kontrolisanim brojem obrtaja za fiksiranje delova čija se geometrija kontroliše, 5)Mrežni interfejs za povezivanje akvizicionog signala za razvojnim PC sistemom i 6)Interaktivni terminal za komunikaciju čovek-mašina. Tehničke mogućnosti: Razvijena i realizovana instalacija omogućava sprovođenje ekstenzivnih eksperimentalnih provera algoritma prepoznavanja geometrijskih ili vizuelnih detalja na delu koji se ispituje i optimizaciju uslova osvetljenja

scene kao kritičnog elementa za primenu senzora veštačkog gledanja, posebno u uslovima ekstremno kratkih ciklusnih vremena i rada sa objektima koji poseduju delikatna svojstva površina od interesa.

Ovaj sistem je praktično primenjen za sprovođenje preliminarnih istraživačkih aktivnosti na izvođenju studije izvodljivosti automatske kontrole kvaliteta na linijama za proizvodnju municije za potrebe kompanije Prvi Partizan iz Užica. Realizatori: Centar za nove tehnologije Mašinskog fakulteta u Beogradu i kompanija Mikrokontrol iz Beograda, Korisnici: Članice konzorcijuma projekta, Prvi Partizan Užice.

Navedena laboratorijska postrojenja su u osnovi kompleksni metrološki sistemi koji predstavljaju pogodne platforme za eksperimentalnu verifikaciju i razradu postavljenih modela, metoda i tehnika primene digitalnih optičkih senzorskih sistema za gradnju merne opreme prilagođene za primenu na automatskim proizvodnim linijama u domaćoj industriji. U narednoj istraživačkoj godini biće dopunjen nedostajući hardver i implementirana unapređena softverska podrška za akviziciju, obradu i interpretaciju senzorskih signala.

Pored primene u eksperimentalnom delu razvojnih aktivnosti, razvijene laboratorijske instalacije i demonstracioni sistemi su primenjeni u segmentu edukacije inženjera i studenata, kao i diseminacije istraživačko-razvojnih rezultata ovog projekta u drugim industrijama Srbije (namenska industrija PPU, Zastava kovačnica, TRAYAL Korporacija Kruševac, Velpan Kikinda, Robotakt Valjevo).



Slika 7: Fotografije Laboratorijske instalacije 2- dispozicija mernog sistema za lasersko skeniranje složenih geometrijskih formi u okviru koncepta reverznog inženjerstva.

3.5 Faza realizacije 2 / aktivnost 2: Razvoj modela interakcije Univerzitet – Industrija

Ovaj projekat ima ambicije da nađe optimalna rešenja za predstojeću saradnju univerziteta i industrije, uzimajući u obzir integracione procese u Evropi prema dokumentu Bolonjske deklaracije [5], [6] i [7]. Za budući integrirani zajednički prostor za visoko obrazovanje (EHEA – *European Higher Education Area*) i istraživanje (ERA – *European Research Area*), univerziteti treba da pripreme industriju za predloge zajedničkih projekata programa FP7 koje finansira Evropska unija. Bergenski kominike [5], kao izlazni dokument sa Ministarskog sastanka Evrope ističe značaj visokog obrazovanja u daljem unapređenju istraživanja, kao i značaj istraživanja u podržavanju visokog obrazovanja za ekonomski i kulturni razvoj evropskog društva i njegovu socijalnu koheziju.

Razvijeni model interakcije Univerzitet-Industrija, baziran na prethodnim istraživanjima i razvoju metodologija interakcije ova dva ključna nosioca razvoja društva, [8], [9] i [10], obuhvatio je sledeće sadržaje:

- Razvoj metodologije za sistematsku identifikaciju raspoloživih znanja proizvodnih i rukovodnih struktura.
- Koncipiranje mehanizama za kontinualno osavremenjavanje znanja, posebno u kontekstu znanja za stvaranje novih proizvoda i inovativnih sadržaja.
- Koncipiranje integrisanog sistema za obezbeđivanje kvaliteta u proizvodnji i obrazovanju.
- Mehanizam diseminacije rezultata porjekta.
- Interakcija sa Bolonjskom deklaracijom, TEMPUS i FP7 programom EU.

Razvijeni model je baziran na primeni Internet i multimedijjskih tehnologija kao fizičkog medijuma za praktičnu implementaciju koja se planira u narednoj istraživačkoj godini.



Slika 8: Fotografije Laboratorijske instalacije 3 – podešavanje i probni rad sistema industrijskih kamera i akvizicionog sistema za visokorezolutnu ultrabrznu obradu slike.

Organizovanjem stručnih ekskurzija studenti smera za Porizvodnog mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu su boravili u kompaniji IKARBUS i kompaniji FAP Priboj sa ciljem praktičnog upoznavanja sa zadacima inženjera u proizvodnim kompanijama.

3.6 Faza realizacije 2 / aktivnost 3: Izgradnja WEB portala projekta

U okviru prve istraživačke godini izgrađen je WEB portal projekta za funkciju komunikacije istraživačkih timova, diseminacije rezultata i edukacije. Adresa WEB portala projekta: <http://master.mas.bg.ac.rs/ma14035>.

4. PROGRAM DALJIH ISTRAŽIVANJA

U narednoj istraživačkoj godini istraživačko-razvojni naponi biće fokusirani na sledeće grupe aktivnosti, odnosno istraživačke pakete (IP):

- IP 1:** Dogradnja i finalizacija koncipiranih procedura primarne obrade senzorskih signala.
- IP 2:** Formalizacija koncepta optičkih metroloških sistema u metodološkom smislu.
- IP 3:** Finalizacija laboratorijskih demonstracionih instalacija i njihova integracija kroz uspostavljanje međusobne sprege na fizičkom nivou u realnom vremenu.
- IP 4:** Implementacija razvijenog koncepta robotizovanog laserskog skeniranja delova kompleksne geometrije na nekoj od proizvodnih linija korisnika istraživanja, IKARBUS i/ili FAP ili u nekoj od kompanija iz poslovno interesne grupe projekat INTOSA.
- IP 5:** Implementacija modela interakcije Univerzitet – Industrija
- IP 6:** Održavanje WEB portala projekta

Kao ukupni okvir navedenih istraživačko-razvojni aktivnosti stoji zadatak uspostavljanja specijalizovane istraživačko-razvojne jedinice u okviru Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta

Univerziteta u Beogradu, koja u svom programskom određenju ima sprovođenje sistematskih istraživačkih aktivnosti, izgradnju laboratorijskih demonstracionih instalacija, i ovladavanje generičkim znanjima iz domena digitalne optičke tehnologije, sa ciljem uspostavljanja kvalitetne baze za transfer ovih specifičnih znanja i veština u domaću industriju, posebno za domen automatizacije proizvodnih procesa.

5. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada izloženi su sadržaj istraživanja, ciljevi i pregled ostvarenih rezultata na projektu MA14035 INTOSA koji zajednički realizuju Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, kompanija Mikrokontrol iz Beograda, IKARBUS iz Beograda i FAP iz Priboja. Ostvareni rezultati pokazuju zainteresovanost i spremnost domaće industrije za implementaciju savremene digitalne optičke tehnologije u svojim proizvodnim procesima i ostalim oblicima poslovnih aktivnosti. U tom kontekstu postavljen je ambiciozan plan za narednu istraživačku godinu, sa konačnim ciljem uspostavljanja specijalizovane istraživačko-razvojne jedinice u okviru Centra za nove tehnologije, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i implementacijom nekih od ljučnih istraživačkih rezultata nekoj od proizvodnih linija kompanija korisnika istraživanja.

Reference:

- [1] Godišnji izveštaj projekta MA14035, Interni materijal u formi elaborata i tehničke dokumentacije za 2009. godinu.
- [2] Schwenke, H., et al., 2002, Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering, Annals of the CIRP, 51/2:685-699.
- [3] Petrović, P., Rubberized Cord Thickness Measurement Based on Laser Triangulation – Part I: Technology, FME Transaction, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Vol 35, November 2007, pp: 77-84.
- [4] Petrović, P., Rubberized Cord Thickness Measurement Based on Laser Triangulation – Part II: Validation, FME Transaction, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Vol 35, November 2007, pp: 85-93.
- [5] Bergen Communiqué 2005: The European Higher Education Area – Achieving the Goals, Bergen, 2005.
- [6] EUA: Glasgow Declaration 2005: Strong Universities for a Strong Europe, Brussels, 050415, 2005
- [7] EUA: Trends IV: European Universities Implementing Bologna, Bergen, 050425, 2005.
- [8] Spasić, Ž., *Integrirani sistem kvaliteta digitalnog univerziteta*, Monografija, Mašinski fakultet, Beograd, 2007.
- [9] Spasić, Ž., Stefanović, V., Quarrie, S., *Implementing Quality Assurance at Universities and their Faculties, Departments and Schools - Background and description of the Project*, TEMPUS JEP-17040 - 1/03, ISBN 86-7083-476-6, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 2003, Pp 56.
- [10] *Alumni Fond Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu aMEß*, Saopštenja II Kongresa "Integracija generacija mašinskig inženjera", Urednici: Spasić, Ž., Nedeljković, M., Rosić, B., Mitrović, Č., ISBN 86-7083-542-8, Mašinski fakultet, Beograd, 2007. Str. 172.

APPLICATION OF INTELLIGENT SENSORY SYSTEMS IN DEVELOPMENT OF INTEGRATED AUTOMATION OF REAL AND VIRTUAL PROCESSES IN MANUFACTURING ENTERPRISES – RECAPITULATION OF THE RESULTS OF PROJECT MA14035

Abstract

This paper gives the results of research carried out during the first research year within project MA14035 carried out jointly by Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade and companies Mikrokontrol, Belgrade, IKARBUS Belgrade and FAP, Priboj. Besides an overview of theoretical and methodological issues, special attention is given to practical results realized within this project in the form of laboratory installations which are used for practical verification of key innovative contents of conducted research. At the end we present the plan for further research and the perspective of application of obtained results in industrial conditions on production lines of participating companies or in the context of projects with companies which are not the members of project consortium.