

ГОДИШЊИ ИЗВЕШТАЈ О РЕАЛИЗАЦИЈИ ПРОЈЕКТА
за период: 01.01.2014. до 31.12.2014.
Програм истраживања у области технолошког развоја
Област: Машинство и индустријски софтвер

Наслов:

**Интелигентни роботски системи за екстремно
диверзификовану производњу**
Smart Robotic Systems for Customized Manufacturing

Евиденциони број:	TR 35007
Руководилац:	Др Петар Б. Петровић, редовни професор
Организација координатор:	Машински факултет Универзитета у Београду
Организације учесници:	Факултет техничких наука у Новом Саду
Корисник:	ИКАРБУС а.д. – Фабрика аутобуса и специјалних возила, Земун
Број месеци истраживача:	56
Трајање пројекта:	4 године

1. Кратак приказ предмета, садржаја и циљева истраживања (Прилог.1 Уговора)

Предмет истраживања на овом пројекту су нови концепти производних система за екстремно диверзификовану производњу и различити аспекти њиховог трансфера у домаћу индустрију.

Кључних захтев екстремно диверзификоване производње, односно персонализоване производње, јесте екстремна флексибилност производне опреме, чија се својства приближавају или изједначавају оним која човек поседује у оквиру мануелних система. У генеричком смислу, основни садржај оваквог концепта јесте интелигенција, која је уграђена у опрему и производни систем у целини.

Постојеће стање као и трендови у стварању генеричких знања из домена вештачке интелигенције указују на чињеницу да изградња интелигентних производних система високог степена аутономности, који би поседовали довољну робусност за практичну применљивост у индустријским условима, није реална у скоријој будућности (неколико деценија).

У циљу превазилажења овог ограничења и истовремено проналажења практично употребљивог одговора на реалне потребе индустрије, постепено се уобличава једно прелазно и у технолошком смислу, еволутивно решење, у облику хибридног система. **Хибридни систем за екстремно диверзификовану производњу** јесте нови технолошки ентитет који се постепено изграђује и који ће у будућности која је непосредно пред нама представљати технолошку основу за нову производну парадигму масовне кастомизације. Основа хибридног производног система је симбиотска интеракција човека и машине, на новим основама, које се битно разликују од постојеће индустријске праксе. Унутар хибридног производног система радни задаци се остварују у тесном колаборативном, односно тимском раду, тако што робот или друга аутоматска опрема, извршавају репетитивне рутинске задатке, а човек, користећи своја изузетна сензорска својства и супериорну интелигенцију, обезбеђује функцију аутономности производног система у реалном времену. Хибридни производни систем је основни истраживачки оквир на пројекту TP35007, при чему се његово истраживање ограничава на домен роботске монтаже и роботског заваривања, са фокусом на истраживање симбиотске интеракције човека и робота кроз туторску функцију, односно на поставку нових механизма преноса знања и вештина са робота на човека и стварање предуслова за тимски рад човека и робота у заједничком радном простору. Дакле, у оквиру хибридног производног система, роботи имају способност да уче и поседују својства за безбедан рад са човеком у заједничком радном простору.

Пројекат је структуриран и састоји се из пет радних пакета:

- | | |
|----------------|--|
| TP35007-PP_1 - | Менаџмент пројекта; |
| TP35007-PP_2 - | Интерфејс за симбиотску спрегу човек-машина и трансфер знања/вештина на машински систем; |
| TP35007-PP_3 - | Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка; |
| TP35007-PP_4 - | Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација; |
| TP35007-PP_5 - | Дисеминација и трансфер знања у индустријско окружење и образовање инжењера. |

Као **основни истраживачки циљ** поставља се задатак изградње научно заснованих теоретских основа генеричке природе практичних приступа за пројектовање и развој интелигентних роботских система базираних на симбиотском односу робота и човека. Човек је на различите начине директно укључен у производни процес (на нивоу извршења задатка) и има улогу да кроз своје деловање обезбеди производном систему потребан и довољан ниво аутономног понашања. Кључни садржај у овом симбиотском односу је трансфер вештина и знања са човека на роботски систем и односи се на оне ситуације у којима роботски систем без присуства човека не може да изврши постављени задатак. Робот и њему придружена мехатронска опрема изводи репетитивне задатке различите врсте, укључујући и оне који носе ризик по здравље човека, а човек који је спрегнут са овим системом, својим чулима допуњује сензорски систем машине и својом супериорном интелигенцијом разрешава деликатне проблеме у реалном времену, посебно оне који се односе на доношење одлука у недовољно познатом окружењу, укључујући и реаговање у потпуно новим ситуацијама, које се драстично разликују од номиналног плана за извршавање постављеног технолошког задатка, а све то у контексту малосеријске и екстремно диверзификоване производње.

Други циљ је да се у домаћу индустрију, која је после екстензивних разарања економског система Србије доведена на врло низак технолошки ниво и своју конкурентност на светском тржишту базира пре свега на јефтином физичком раду и примарној преради сировина, уведу нови, високотехнолошки и иновативни садржаји кроз примере позитивне индустријске праксе. Позитивна индустријска пракса подразумева изградњу пилот демонстрационих система, који ће показати применљивост и практичну вредност за домаћу индустрију и тако покренути трансформационе процесе у смеру стварања индустрије знања. У овом контексту планирано је да се до окончања пројекта TP35007 изграде демонстрационе инсталације на Машинском факултету и у производним погонима компанија чланица конзорцијума и/или компанија које чине групу компанија пословно заинтересованих за резултате пројекта TP35007. Основни садржај ових демонстрационих инсталација ће бити хибридни роботски систем, односно роботске технолошке ћелије у којима је остварен неки вид симбиотске спреге човека и робота у извршавању постављеног задатка. На овим инсталацијама ће бити верификовани критични истраживачки садржаји и практично примењен концепт нове симбиотске интеракције човека и машинског система, фокусирајући се на изабране примере технолошких задатака, који су: 1)високоваријантне природе, 2)традиционално се изводе екстензивним ангажовањем мануелног рада, и 3)који носе инхерентне ризике по здравље човека (премештање човека на технолошки комплексније/квалитетније задатке). Практична применљивост резултата пројекта подједнако обухвата велике компаније као и сектор малих и средњих предузећа, посебно она која су усмерена на извоз и друге облике кооперативне сарадње на међународном нивоу, суштински мењајући постојеће стање у домаћој индустрији кроз отварање нових високотехнолошких и развојних радних места и препуштање постојећих, радно интензивних задатака, делимично или у целисти, интелигентним роботским системима.

Трећи циљ је да се концепт интелигентних технолошких система, интелигентних робота и мехатронике као генеричких мултидисциплинарних технологија за градњу оваквих система, промовише и дисеминира у едукативни систем за образовање инжењера и у привреду, кроз успостављање нових курсева, лабораторијских вежбања у настави, и семинара и других облика иновације знања за компаније чланице конзорцијума и пословно заинтересоване компаније ван конзорцијума пројекта. У оквиру ове групе активности систематски се развија иницијатива шире мобилизације индустрије, носиоца инвестиционог капитала и истраживачко-развојних институција на изградњи нових механизма за успостављање нових технолошких основа индустрије Србије, компатибилних са европским моделима технолошког развоја, првенствено смештених у концепт Европских технолошких платформи (ETP-European Technology Platforms). Суштина је у томе да је неопходно створити опште повољан амбијент, у националним размерама, који ће овакве процесе учинити изводљивим и потребним.

Планирани и до сада остварени резултати пројекта се групишу у две групе:

Научни резултати и иновације: Нове формално-теоретске основе за изградњу система за симбиотску спрегу човек-машина у оквиру роботизованих система за аутоматску монтажу и операција заваривања које обухватају: а)Концептуалне основе и разраду модела двосмерне комуникације човека и машине и трансфер знања и вештина са човека на машину; б)Концептуалне основе и разраду модела систематске аквизиције човековог понашања у разрешавању комплексних ситуација; ц)Сензорски систем - сила, вештачко гледање и оптичка триангулација структуриране светлости; д)Систем за обраду, фузију и препознавање сензорских сигнала; е)Концептуалне основе и разрада модела семантичке интерпретације обрађених сензорских сигнала - свест робота о стању окружења у коме делује; ф)Изградња концептуалних основа хаптичког интерфејса за физичку спрегу манипулационог робота и човека (тутора). Овај комплексан истраживачки резултат би имао садржаје значајног продора у области вештачке интелигенције, мерљиве у интернационалним размерама и као такав, представљао основни иновативни садржај пројекта, који би у случају реализације свих планираних функција имао вредност радикалне технолошке иновације генеричког карактера.

Техничка решења: а)Изградња Regional Competence Center на Машинском факултету у Београду у оквиру Центра за нове технологије, специјализованог за домен интелигентних роботских система за технологију монтаже и заваривање + плазма/ласер резање (постојећа опрема, опрема коју донира компанија MILLER USA, опрема коју донира компанија HYPERTHERM USA, опрема ФТН доступна за коришћење кроз пројекат TP35007, додатна опрема коју финансира МНТР, адаптација постојећег простора коју финансирају компаније чланице конзорцијума); б)Демонстрационе инсталације: Демонстрациона инсталација 1 - ИКАРБУС хибридни систем за роботско заваривање модула нове генерације носеће структуре нископодних аутобуса - изградња технолошке ћелије која ће у завршној фази пројекта TP35007 бити доведена у потпуно функционално стање и даље, као референтна инсталација, репликована за потребе компаније и компанија домаће индустрије; ц)Демонстрациона инсталација 2 - Хибридни систем за роботску монтажу фамилије модула склопа изабраног електромеханичког производа - изградња модуларне технолошке линије/ћелије која ће у завршној фази

пројекта TP35007 бити доведена у потпуно функционално стање и даље, као референтна инсталација, репликована за потребе компаније и компанија домаће индустрије.

2. Циљ истраживања у четвртој години (Прилог.1 Уговора)

У четвртој години реализације пројекта истраживачко-развојне активности ће бити фокусиране на практичну имплементацију резултата који су остварени у оквиру корпуса теоретских истраживања спроведених у претходне три године. Посебна пажња биће усмерена на један шири развојни концепт који поседује велику истраживачку и апликативну релевантност за домен производних технологија, а то је концепт кибернетско-физичких система (Cyber-Physical Systems / CPS). Концепт кибернетско-физичких система као истраживачки оквир за трансформацију индустрије и изградњу фабрика будућности је новост и један је од основних приоритета у оквиру Осмог оквирног програма ХОРИЗОНТ 2020 Европске уније, а такође и еквивалентних програма који се у оквиру National Science Foundation реализују у Сједињеним америчким државама у оквиру програма NSF 13-502 Cyber-Physical Systems (CPS). Полазећи од овог контекста, истраживачко развојне активности ће бити фокусиране на четири базне теме:

1. Теоретски модели кибернетско-физичких система за домен симбиотске спреге човек-машина који се остварује кроз колаборативни и тимски рад (интеракција биолошког и машинског система у кибернетској и физичкој равни) и трансфер знања/вештина на машински систем. Ова тема обухвата:
 - а) Даљу разрада концептуалних основа антропоморфних индустријских хуманоидних робота за комплексне задатке интеракције са окружењем и тимски рад са човеком у домену технологије роботске монтаже, где ће бити настављене активности теоретског и експерименталног типа на усавршавању зглоба са управљивом попустљивошћу,
 - б) Даља разрада MEMS модула за аквизицију понашања човека у извршавању типичних манипулационих задатака и изградњу интерфејса за директну физичку комуникацију човек-робот, и
 - в) Даља разрада и финализација вишеканалног модуларног система за кондиционирање сензора силе, са циљем стварања хардверске платформе за даља истраживања у домену интеракције робота са окружењем и човеком преко вектора силе као основног носиоца информација (комплексни модели повратне спреге по сили).
2. Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка: Наставак развојних активности кроз систематску ревизију решења остварених током треће истраживачке године чији је основни циљ изградња комплексног, мултифункционалног и високоефикасног интерфејса за спрезање човека са производним системом кроз екстензију конвенционалног SCADA концепта комерцијално расположивим SolidWorks CAD пакетом за просторно геометријско моделирање и додатним специјализованим модулима за директни прихват сензорских информација. Основни исход оваквог приступа је радикално поједностављење интеракције човека и производног система и убразање синтезе/симулационе верификације радног задатка и генерисање извршног управљачког кода.
3. Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима: Кључни садржај истраживачко-развојних активности у четвртој години, са фокусом на даљу разраду и доградњу лабораторијске инсталације за практичну демонстрацију и усавршавање концепта хибридног роботског система прилагођеног захтевима нове производне парадигме масовне кастомизације:
 - а) Инсталација 1: Монтажа заварених склопова / роботско заваривање са адаптивним/аутономним понашањем базираним на аквизицији геометрије склопа који се заварује применом специјалног мултифункционалног модула за вештачко гледање који укључује три функционална мода рада: тачкаста ласерска триангулација, триангулације структуриране светлости, и пуна визуелна информација сцене. Мултифункционални сензорски модула је интегрисан у структуру антропоморфног робота специјализованог за операције заваривања конвенционалним МИГ/МАГ/ТИГ поступцима и за операције ласерског заваривања – YASKAWA MA1400;
 - б) Инсталација 2: Монтажа малих механичких склопова, операције роботизованог спајања делова са укљученом функцијом адаптивног понашања кроз аквизицију генерализованог вектора силе спајања и визуелне информације, имплементирани на редувантну роботску платформу антропоморфне конфигурације, са перформансама блиским оквиру индустријског хуманоида – YASKAWA SIA 10F.
4. Реализација демонстрационог модуларног CNC система за плазма резање и инсталација у оквиру производног погона компаније ИКАРБУС. Реализација роботске хелије за адаптивно заваривање

одговорних склопова носеће структуре аутобуса и инсталација у оквиру производног погона компаније ИКАРБУС. Овим активностима ће резултати из лабораторијског простора бити преведени у реалне услове индустријске производње.

3. Фазе и активности у четвртој години истраживања (Прилог.1 Уговора)

- Фаза реализације 3:** Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка
Активност 3: Доградња функције аквизиције геометријских информација из реалног окружења у изабрани комерцијално расположиви САД пакет за просторно геометријско моделирање / део 2;
Временски оквир: 01/06/2014 - 31/12/2014
Резултат: М51 Број резултата: 1
- Фаза реализације 3:** Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка
Активност 4: Израда интерактивног интерфејса у оквиру CyberFABRICATOR платформе;
Временски оквир: 01/06/2014- 31/12/2014
Резултат: М51 Број резултата: 1
- Фаза реализације 4:** Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 6: Модуларни CNC систем за плазма резање са уграђеном функцијом адаптивног управљања режимом резања – Демонстрациона инсталација у индустријској средини;
Временски оквир: 01/01/2014 - 30/09/2014
Резултат: М82 Број резултата: 1
- Фаза реализације 4:** Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 7: Инсталација 1: Монтажа заварених склопова / роботско заваривање, дигитализација геометрије завареног склопа и димензиона метрологија ласерском триангулацијом и триангулацијом структуриране светлости – Трансфер на роботску платформу МА1400 / Део 2;
Временски оквир: 01/01/2014 - 31/12/2014
Резултат: М63 Број резултата: 2
- Фаза реализације 4:** Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 8: Инсталација 2: Монтажа малих механичких склопова, операције роботизованог спајања делова с укљученом функцијом адаптивног понашања аквизицијом генерализованог вектора силе спајања – Трансфер на роботску платформу SIE 10F / Део 2;
Временски оквир: 01/01/2014 - 31/12/2014
Резултат: М63 Број резултата: 2
- Фаза реализације 5:** Изградња и одржавање WEB поратала пројекта TP35007
Активност 5: Доградња WEB поратала пројекта TP35007;
Временски оквир: 01/01/2014 - 31/12/2014
Резултат: М86 Број резултата: 1
- Фаза реализације 5:** Изградња и одржавање WEB поратала пројекта TP35007
Активност 6: Интеракција и дисеминација резултата у оквиру Програма Националних технолошких платформи Републике Србије;
Временски оквир: 01/01/2014 - 31/12/2014
Резултат: М63 Број резултата: 1

Б Реализација обавеза дефинисане Уговором

1. Конкретан опис резултата пројекта, по активностима и фазама, који су остварени у извештајном периоду (до 15 страница), са упоређењем са обавезама и резултатима дефинисаним Уговором.

Фаза реализације 3:	Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка
Активност 3:	Доградња функције аквизиције геометријских информација из реалног окружења у изабрани комерцијално расположиви CAD пакет за просторно геометријско моделирање / део 2;
Временски оквир:	01/06/2014 - 31/12/2014

Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_2: Интерфејс за симбиотску спрегу човек-машина и трансфер знања/вештина на машински систем. Током 2014. године истраживачко-развојне активности су биле фокусиране на изградњу теоретских модела кибернетско-физичких система за домен симбиотске спрегу човек-машина који се остварује кроз колаборативни и тимски рад (интеракција биолошког и машинског система у кибернетској и физичкој равни) и трансфер знања/вештина на машински систем. Спроведене истраживачких активности се могу груписати у три домена:

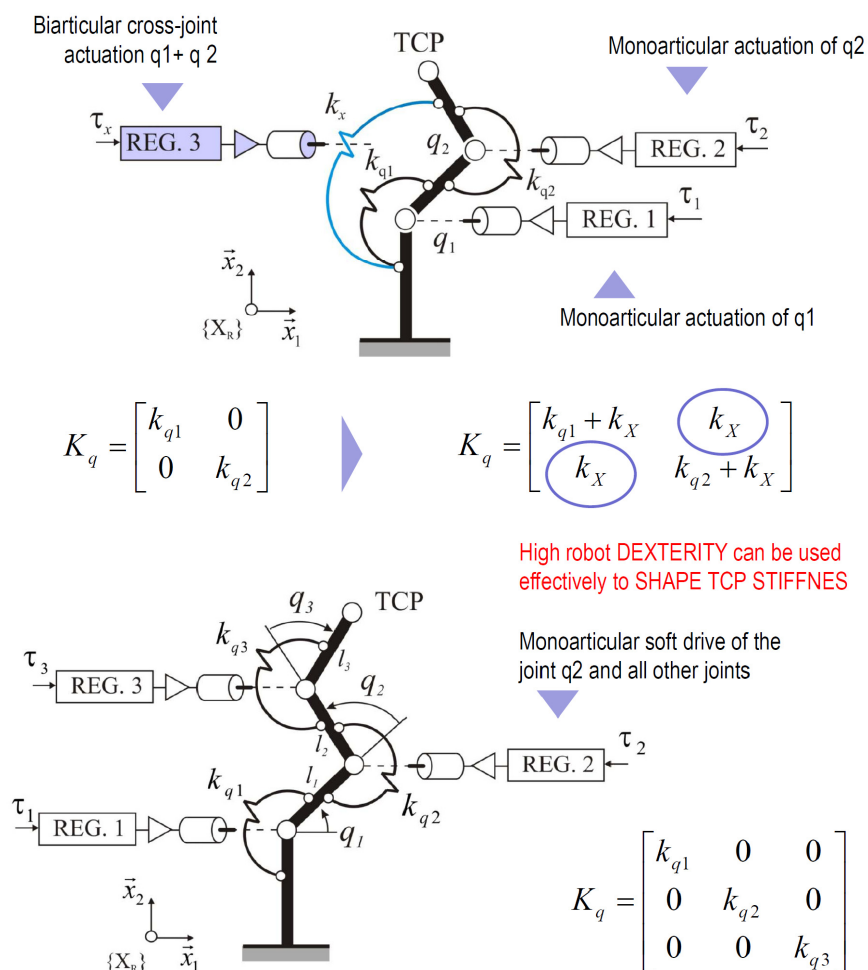
- a) Индустијских хуманоиди - Разрада концептуалних основа антропоморфних индустријских хуманоидних робота за комплексне задатке интеракције са окружењем и тимски рад са човеком у домену технологије роботске монтаже
- b) MEMS сензорски модул - Финализација развоја MEMS сензорског модула за аквизицију понашања човека, и
- c) Кондиционер сензора силе - Финализација вишеканалног модуларног система за кондиционирање сензора силе.

Даље се наводи основни опис спроведених активности и остварених резултата.

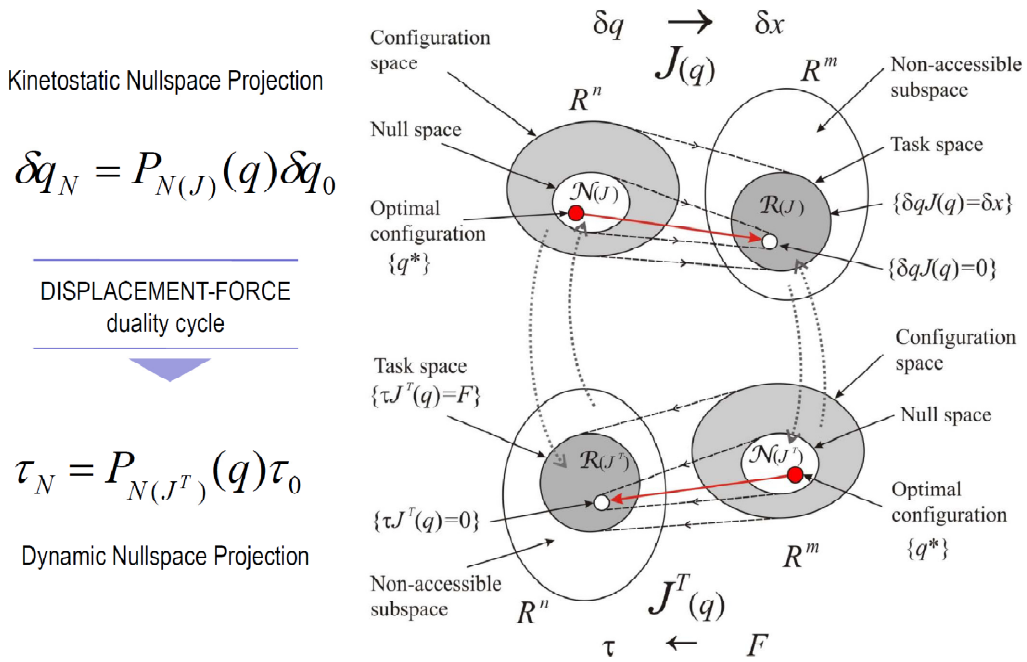
а) Индустијски хуманоиди – Током 2014. године истраживачке активности су биле доминантно фокусиране на овај домен са два основна задатка: а.1) Кинематска редунданса - Разрада концептуалних основа примене кинематске редундансе код антропоморфних индустријских хуманоидних робота за извршавање комплексних задатка интеракције са окружењем и тимски рад са човеком у домену технологије роботске монтаже, и а.2) Меки зглоб - Усавршавање зглоба са управљивом попустљивошћу кроз даља теоретска истраживања и усавршавање лабораторијског прототипа.

а.1) Кинематска редунданса: Са аспекта кинематике робота, кинематска редунданса подразумева кинематску преодређеност, односно већи број управљивих степени слободе у односу на број степени слободе који је неопходан да се изврши конкретан радни задатак. Дакле, кинематска редунданса се са оваквог аспекта може разумети као нека врста неоптималности, па чак и грешке у решењу кинематике робота. Међутим, то је у потпуности погрешан закључак уколико се узме у обзир шири контекст примене робота, односно уколико се разумевање постављеног задатка не ограничи само на елементарну кинематику. Сваки задатак који робот треба да изврши у оквиру неког технолошког система, може се разложити на примарни задатак и скуп секундарних задатака. Примарни задатак је код робота увек везан за манипулацију, односно померање врха робота по некој задатој трајекторији. Дефиниција скупа секундарних задатака је много комплекснија и одређена је специфичним технолошким захтевима који прате његово извршавање. У оквиру система за роботску монтажу, и затим у контексту процеса спајања делова (основни и најделикатнији процес технологије монтаже), секундарни задатак је увек повезан са попустљивошћу, односно са остваривањем одређене генерализоване крутости врха робота (робот се у оквиру технологије монтаже посматра као деформабилни систем). Дакле, током извршавања задатка спајања делова, робот мора да симултано изврши два задатка: 1) да оствари кретање дела који се инсертује по задатој трајекторији – задатак управљања позицијом и 2) да оствари захтевану генерализовану крутост врха робота, односно пројектованог 'врха робота' у неку специфичну тачку у простору, најчешће је то врх дела који се спаја. Симултано извршење ова два задатка је могуће само у случају уколико не постоји међусобни конфликт, односно уколико су они распрегнути. Управо у овом специфичном детаљу могуће је изградити другачије разумевање кинематске редундансе. Неконфликтно извршење примарног и секундарног задатка могуће је у општем случају само уколико робот поседује кинематску редундансу. Уколико је кинематска редунданса већа (већи број кинематски 'прекобројних' степени слободе) могућ је виши избор у оптимизацији извршавања примарног и секундарног задатка. Даље, секундарни задатак у овом конкретном случају не може се ограничити само на попустљивост. Овом

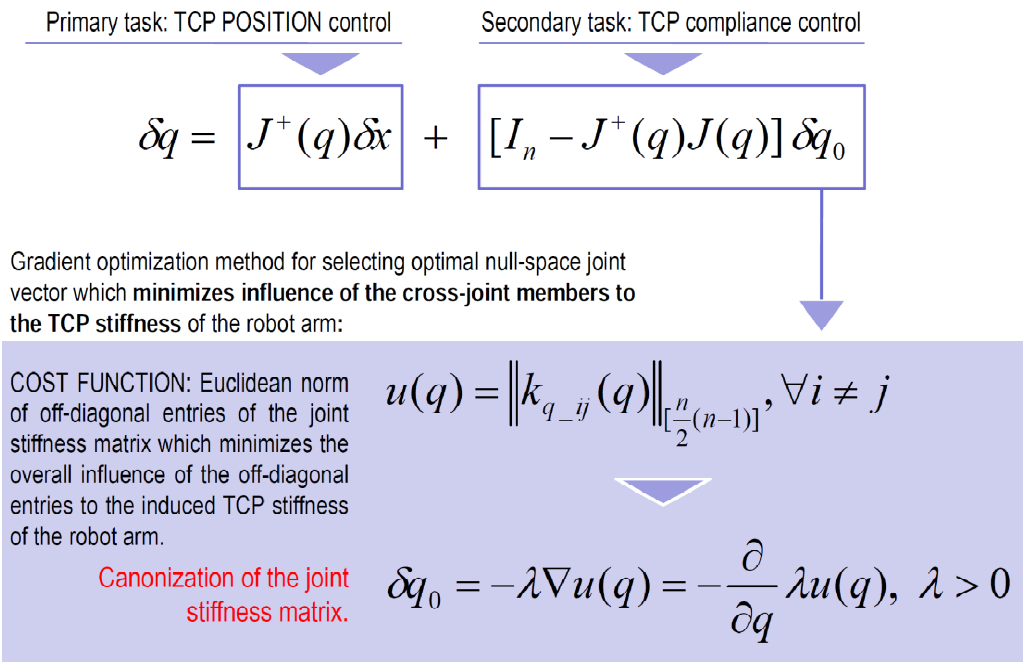
секундарном задатку мора се придодати најмање још један, такође секундарни задатак, а то је задатак избегавања сингуларитета. Дакле, већ се кроз елементарни оквир анализе технолошког задатка спајања делова у оквиру система за монтажу, јасно намеће потреба за кинематском редундансом. Управо из тог разлога, а све у оквиру истраживања нове генерације индустријских робота – индустријских хуманоида, у оквиру овог пројекта посебно истражује кинематска редунданса. То исто важи и за домену управљања. Кинематски и динамички модел редундантног робота је драстично коомплекснији од кинематски нередундантног робота, а решење овако комплексног проблема остварује се генерално у оквиру конфигурационог простора нуле Јакобијанове трансформационе матрице (кинематска редунданса имплицира правоугаону Јакобијанову матрицу, која се инвертује кроз концепт генерализоване инверзије и има своје партикуларно и хомогено решење). У истраживачком смислу, кинематика и динамика редундантних робота није заокружена област и захтева додатна истраживања, посебно у случају екстремно редундантних робота и бимануалних или полумануалних роботских конфигурација. Резултати ових истраживања која су током 2013. и 2014. године спроведена у оквиру пројекта TP35007 су поднети за објављивање у часописима, а један део је презентирани на међународним конференцијама. У овом контексту се посебно издваја активно учешће на једном референтном догађају за домен роботике одржаном на **Ecole Polytechnique Federale de Lausanne / EPFL, Lausanne, SWITZERLAND**, под називом: International Workshop and Summer School on Medical and Service Robotics, July 09 – 12. 2014. У овом контексту одржано је предавање: P.B. Petrović, I. Danilov, N. Lukić, '**Nullspace Compliance Control of Kinematically Redundant Antropomorphic Arm**', на којем су саопштени најновији теоретски и експериментални резултати у области моделирања и управљања кинематски редундантним роботима антропоморфне структуре. Шири контекст ове тематике је саопштен полазницима летње школе, докторантима са европских универзитета и института у форми туторијала: P.B. Petrovic, '**Advances in Compliant and Soft Controlled Structures for Effective and Safe Robot - Environment Interaction**'. Активно учешће у својству предавача по позиву на летњој школи може се разумети као значајно признање напорима које је чинио тим истраживача на пројекту TP35007.



Слика 1: Варијантни концепти за остваривање захтеване генерализоване крутости: актуациона редунданса (горе) и кинематска редунданса (доле).



Слика 2: Концепт конфигурационог простора нуле и дуализам између кинестатичког и динамичког домена Јакобијанове матрице кинематски редундантног робота.



Слика 3: Аналитички оквир за симултану и неконфликтну реализацију примарног и секундарног задатка у процесу спајања. Овакво решење је могуће само код кинематски редундантног робота!

За разлику од нередундантног робота, решење инверзног кинематског проблема код редундантног робота се састоји из партикуларног и хомогеног члана:

$$\delta q = \delta q_p + \delta q_N = J^+(q) \delta x + P_{N(J)}^c(q) \delta q_0 \quad (1)$$

Треба обратити пажњу да се у релацији (1) инверзија Јакобијанове матрице појављује у свом генерализованом облику, конкретно то је такозвана Мур-Пенроуз псеудоинверзија правоугаоне матрице која задовољава услов минималне норме помераја, која у развијеном облику гласи:

$$J^+(q) = J^T(q)[J(q)J^T(q)]^{-1} \in R^{n \times m} \quad (2)$$

Одатле дање директно следи релација која дефинише комплементарни пројектор секундарног задатка у конфигурациони простор нуле, наведена у полазној релацији (1):

$$P_{N(J)}^c(q) = I_n - P_{N(J)}(q) = I_n - J^+(q)J(q) \quad (3)$$

Произвољно изабрани вектор помераја δq_0 који се појављује у партикуларном члану релације (1) треба да задовољи критеријумску функцију минималне грешке остварене генерализоване крутости роботске руке:

$$\delta q_0 = \{\delta q_0 \in R^n : \delta q_0 = \min(\Delta K_q), \Delta K_q = K_{qd} - K_q\} \dots (4)$$

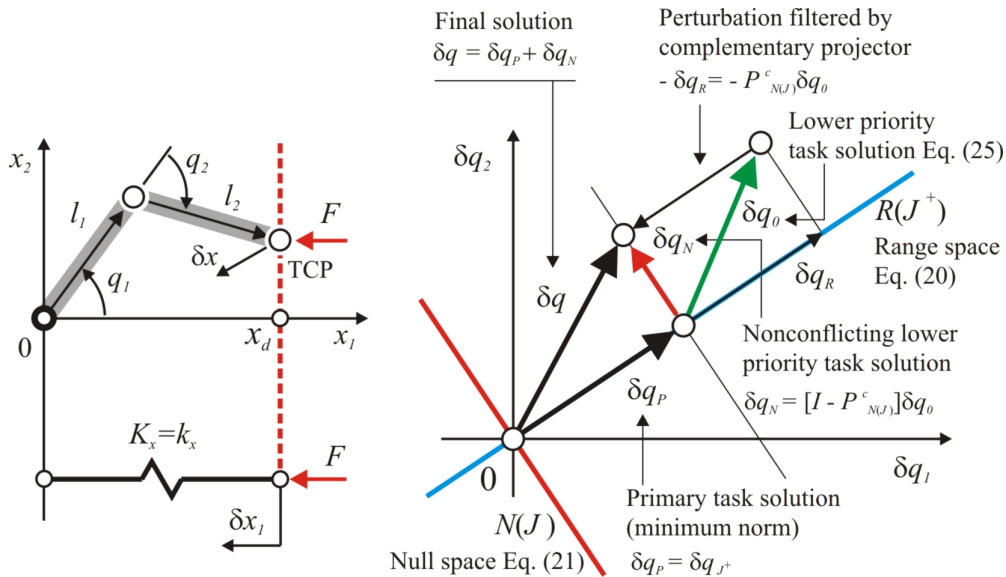
одакле се даље, за услов минималне вредности норме недиагоналних елемената матрице генерализоване крутости, који је у оквиру срповедених истраживања на TR35007 усвојен као оптимизациони критеријум, изводи критеријумска функција у облику:

$$u(q, K_x) = \left\| k_{q-ij}(q, K_x) \right\|_{\lfloor \frac{n(n-1)}{2} \rfloor} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^n (k_{q-ij}(K_{xd}, q))^2} \dots (5)$$

Применом методе негативног градијентног пада, следи:

$$\delta q_0 = -\alpha \nabla u(q) = -\alpha \frac{\partial}{\partial q} u(q), \quad \alpha > 0 \dots (6)$$

Графички приказ релација (1) до (3) за случај минималног редундантног робота (планарни робот са два степена слободе и простром радног задатка са једним степеном слободе, односно $r = (n - m) = 1$) приказан је на слици (4). Као што је приказано на слици 4, овај робот се понаша као једнодимензиона опруга, тако да се управљачки задатак стастоји из примерног задатка остваривања задате позиције дуж x_1 осе ($x_1 = x_d$) и секундарног задатка остваривања задате крутости врха робота ($K_x = k_x = k_{xd}$). Применом комплементарног пројектора (3) примарни и секундарни задатак се остварују симултано на неконфликтан начин кроз суперпозицију партикуларног и хомогеног решења (1). Релација (1) се може разумети као аналитичка инферентна машина за неконфликтну утискивање / инклузију секундарног задатка у примарни.



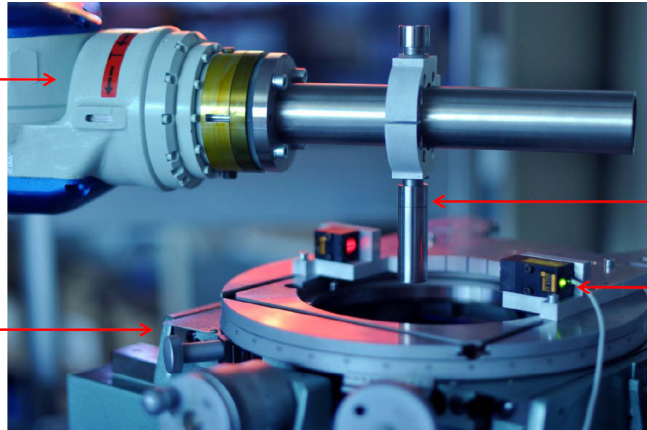
Слика 4: Графички приказ неконфликтне суперпозиције примарног и секундарног задатка, (1) до (3), на примеру минимално редундантног робота (планарни робот са два степена слободе и простром радног задатка са једним степеном слободе, односно $r = (n - m) = 1$).

Теоретска истраживања су практично верификована на редундантном роботу Yaskawa SIA 10F који је са циљем математичке и физичке једноставности редукован на планарни робот са 3 степена слободе, из чега се даље, у зависности од усвојене димензије простора радног задатка генерише планарни робот са једним или два редундантна степена слободе (слика 5 приказује случај са $r = 2$).



Yaskawa SIA 10F robot
 Redundant articulated
 robot arm with 7 d.o.f.
 Payload : 10 kg
 Arm reach: 720 mm
 Total arm weight: 60kg

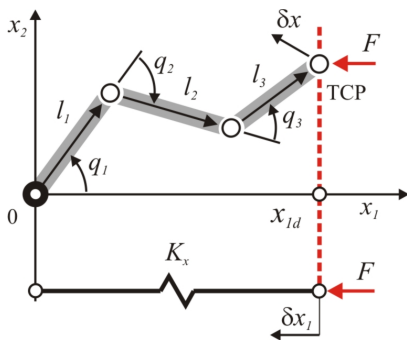
Precise XY rotary table
 with hollow central area



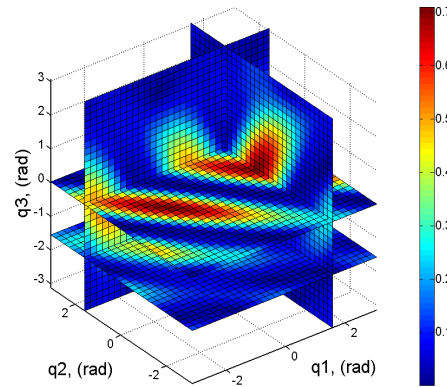
Robot virtual
 TCP support /
 pivoting pin (no
 motion is allowed
 theoretically)

Laser sensor
 (optical curtain)

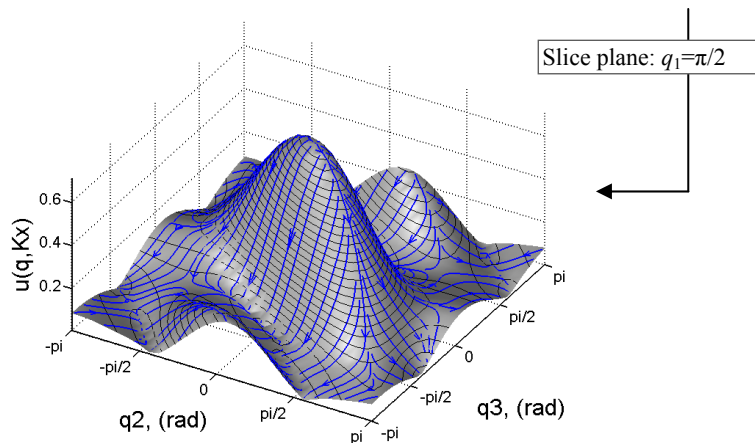
a)



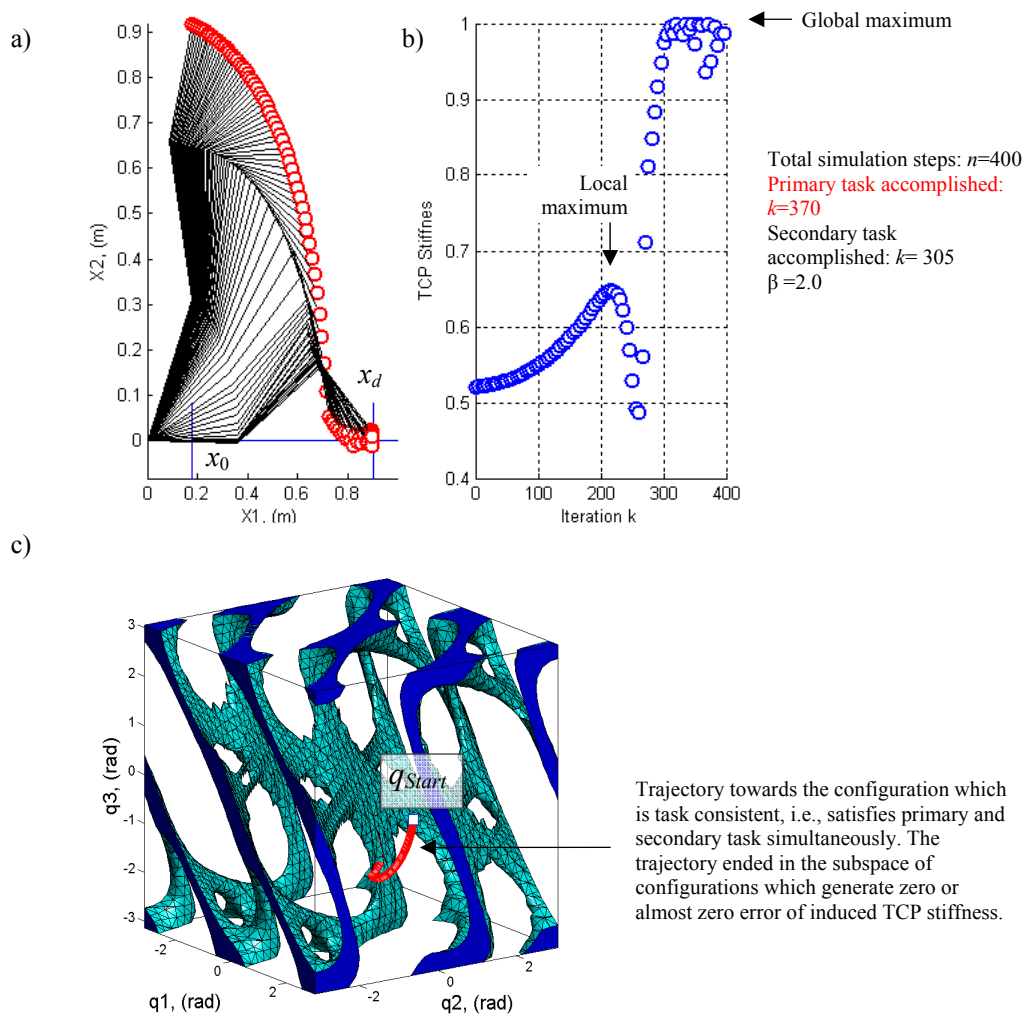
b)



c)

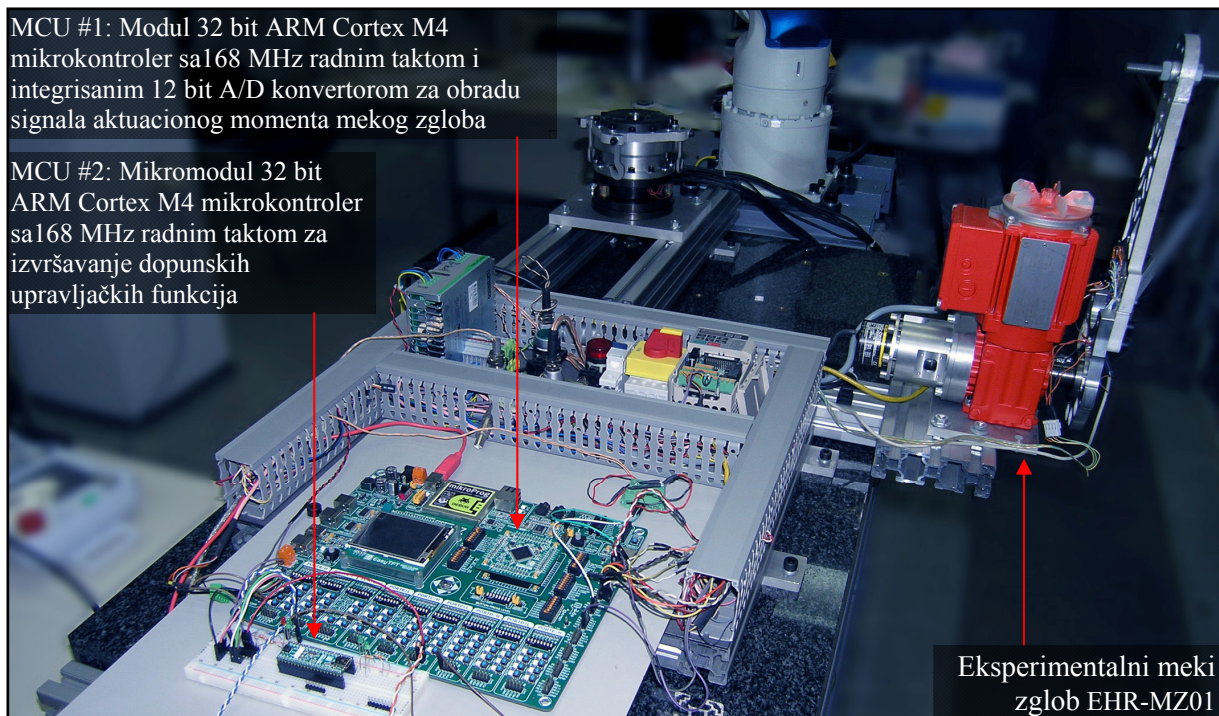


Слика 5: *Експериментална инсталација развијена у оквиру CMSysLab на бази реундантног робота Yaskawa SIA10F са 7 степени слободe, за практичну верификацију развијеног концепта симултане суперпозиције примарног и секундарног задатка према аналитчком моделу (1) до (3). Конфигурација робота (а), запреминско потенцијално поље дефинисано релацијом (б), пресек потенцијалног поља за изабрану генералисану координату (ц).*



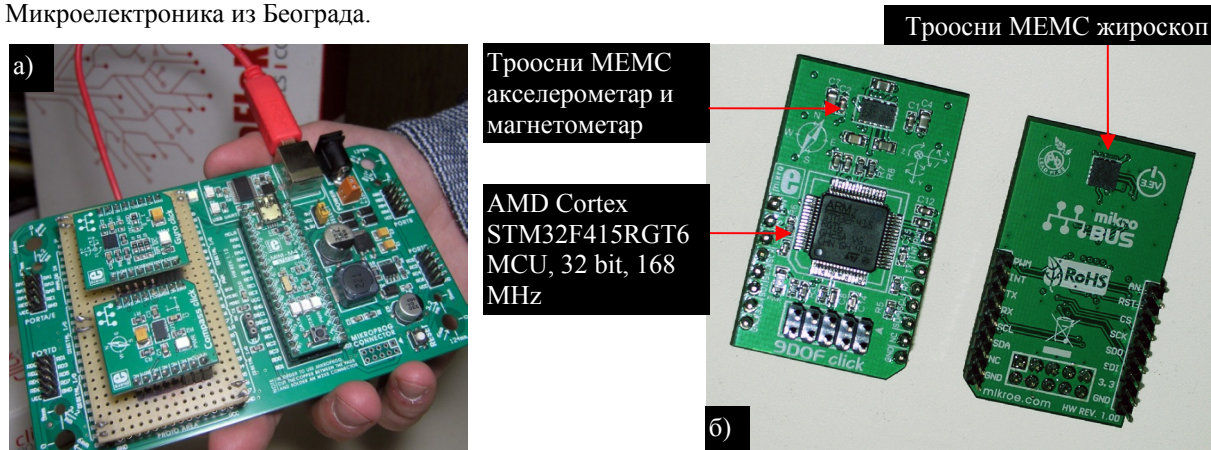
Слика 6: Симулациони резултати редундантног робота са слике 5 за задато кретање од $x_0 = 0.180m$ до $x_d = 0.900m$ (примарни задатак) и секундарни задатак у којем се оптимизира генерализована крутост врха робота према (б): а)кретање механизма робота у простору радног задатка, б)варијација крутости врха робота и ц)приказ фракције просторног потенцијалног поља које задовољава $u(q, K_x) < 0.03[\max(u(q, K_x))]$, екстраховано из потенцијалног поља приказаног на слици 5б, и приказ кретања робота у његовом конфигурациономо простору.

а.2) Меки зглоб: За потребе експериментисања у домену актуационих система индустријских хуманоидних робота 2012. године је развијен и физички реализован меки зглоб са ознаком EHR-MZ01. Меки зглоб је резултат самокрадње (механика, сензорика, управљање и базни управљачки софтвер) и представља јединствену физичку платформу за експериментисање и пректичну проверу различитих закона и алгоритама управљања физичком интеракцијом зглоба са окружењем (физички контакт и ограничено кретање). Иницијално, управљачки и аквизициони систем (сензор погонског момента и сензор угаоног положаја) су реализовани применом међусобно умрежених осмобитних микроконтролера PIC18F45K22 са радним тактом од 8 до 208-20 MHz. Током 2013. године постала је доступна нова генерација 32 bit микроконтролера компаније STMicroelectronics STM32 фамилије. Ови микроконтролери су базирани на ARM Cortex-M процесорима и поседују изузетне перформансе за дигиталну обраду сигнала, што је у конкретном случају меког зглоба EHR-MZ01 релевантно својство. Такође, овај микроконтролер поседује интегрисани A/D конвертор са 12 bit рзолуцијом. Током истраживачке 2014. године извршена је реконструкција иницијалног управљачког система у смислу миграције са постојеће осмобинте PIC18 на ARM Cortex-M 32 bit платформу применом ARM Cortex M4 микроконтролера са 168 MHz радним тактом. Детаљи су приказани на слици 7. Применом ARM Cortex M4 технологије створени су услови за рад са комплекснијим алгоритмима управљања попустљивим понашањем меког зглоба у реалном времену. Детаљи о развијеном меком зглобу се налазе у извештају из 2013. године и у припадајућем техничком решењу M85 категорије.



Слика 7: Меки зглоб EHR-MZ01 са новим системом управљања базираним на ARM Cortex-M4 32 bit платформи са 168 MHz радним тактом. Развој и реализација остварени 2014. години.

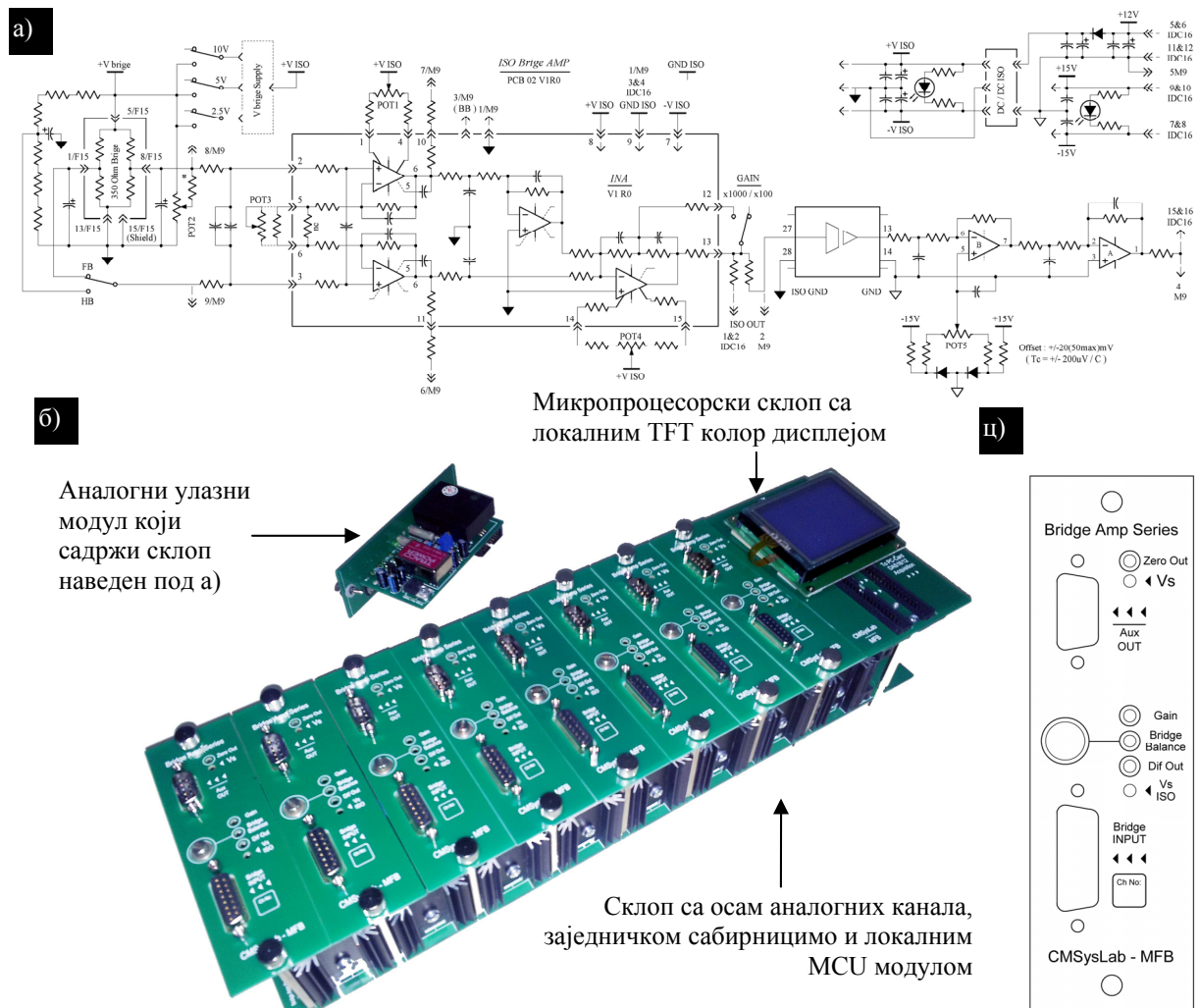
б) MEMS сензорски модул – У овом домену је током 2014. године реализована ФАЗА 2 истраживачко активности на реализацији специјализованог интелигентног сензорског хардвера за потребе: i) аквизиције понашања човека у извршавању типичних задатака у индустријској производњи, ii) интеракције човек-робот кроз команде које се задају помоћу гестова покретима, а повезане су са извршавањем конкретног радног задатка робота, и iii) генерисања угаоне референце за убрзавање функције регистрације/фузије облака тачака генерисаних у оквиру сензора вештачког гледања који раде на принципу триангулације структуриране светлости (масовна триангулација помоћу раванских кодних мапа). ФАЗА 2 је подразумевала израду нулте серије хардвера MEMS сензорског система који генерише у реалном времену 3 угаоне координате (Ојлерови углови) и/или кватернион, као његов математички еквивалент. Угаоне координате се генеришу применом 3 MEMS сензорска склопа: троосни акцелерометар, троосни жироскоп и троосни магнетометар. Посебним алгоритмима (описано у прошлогодишњем извештају) врши се фузија ових сензорских сигнала и генерише јединствени излазни триплет. На слици 8 је приказан овај специјализован модул микродимензија, који је развијен у сарадњи са српском компанијом Микроелектроника из Београда.



Слика 8: Фотографије MEMS сензора за генерисање 3 Ојлерова угла или кватерниона у реалном времену: а) Фаза 1, развојни прототип реализован током 2013. године, б) Фаза 2, прототипска серија реализована током 2014. године у сарадњи са компанијом Микроелектроника из Београда. Сензорски склоп поседује интегрисан AMD Cortex M4 микроконтролер за локалну обраду сигнала и двосмерну дигиталну комуникацију са надређеним системом.

Током 2015. године планира се реализација Фазе 3 која укључује даљу оптимизацију хардвера, изградњу веријантних облика паковања (у Фази 2 је реализовано решење које је диктирано хардверским стандардом периферијског интерфејса *microBUS* компаније Микроелектроника, димензије постојећег модула су 42.9mm x 25.6mm) и даљи развој фирмвера за интеграцију овог склопа у сложене системе управљања или аквизиције оријентације и позиције објекта у простору.

ц) Кондиционер сензора силе – Током 2014. године истраживачке активности су биле усмерене на финализацију вишеканалног модуларног система за кондиционирање сензора силе који је пројектован током 2012, а физичка реализација прототипа започела 2013. године. Овај сензорски систем поседује низ специфичности, које га чине јединственим на тржишту производа за вишеканлно кондиционирање сигнала сензора силе. Прва особеност је специјализација за рад у реалном времену, а друга је потпуна отвореност у апликативном смислу. Комерцијално расположиви системи по правилу нису пројектовани за рад у реалном времену. Овде се мисли на класу кондиционера који у себи садрже микропроцесорске модуле за примарну обраду сигнала. Они су тако пројектовани да је увид и коришћење генерисаних сензорских сигнала у дигиталном облику могуће тек после завршене аквизиције, дакле само прегледање сигнала. Такође, ово решење поседује велику хардверску флексибилност улазних модула у смислу избора напона напајања мерног моста, појачања, компензације иницијалног дебаланса и хардверске филтрације генерисаног сигнала (види слику 9а). Такође, развијени систем садржи и микропроцесорски модул за локалну обраду сигнала, чиме комплетан склоп кондиционера добија атрибут интелигентног система. Микропроцесорски склоп је базиран на AMD Cortex микроконтролеру STM32F407VGT6, садржи локални 320x240 TFT колор дисплеј са интегрисаним сензором осетљивим на додир, и локални дигитални интерфејс за двосмерну комуникацију са окружењем. Микропроцесорски модул је развијен у срадњи са компанијом Микроелектроника из Београда. Детаљи су приказани на слици 9.



Слика 9: Осмоканални интелигентни кондиционер сензора силе за рад у реалном времену у оквиру система за роботску монтажу: а) Шема аналогног улазног модула, б) Фотографија реализованог прототипа и ц) Изглед предње плоче улазног модула.

Резултати:

Планирано:	M51 Број резултата: 1
Остварено:	M21 Број резултата: 1
	M63 Број резултата: 1

Фаза реализације 3:	Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка
Активност 4:	Израда интерактивног интерфејса у оквиру CyberFABRICATOR платформе;
Временски оквир:	01/06/2014- 31/12/2014

Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_3: Виртуелни модел производног процеса и планирање технолошког задатка. Током 2014. године настављене су развојне активности на изградњи појединих функционалних модула кибернетско-физичког система, који је као развојна платформа под називом CyberFABRICATOR конципирана током треће истраживачке године на пројекту TP35007.

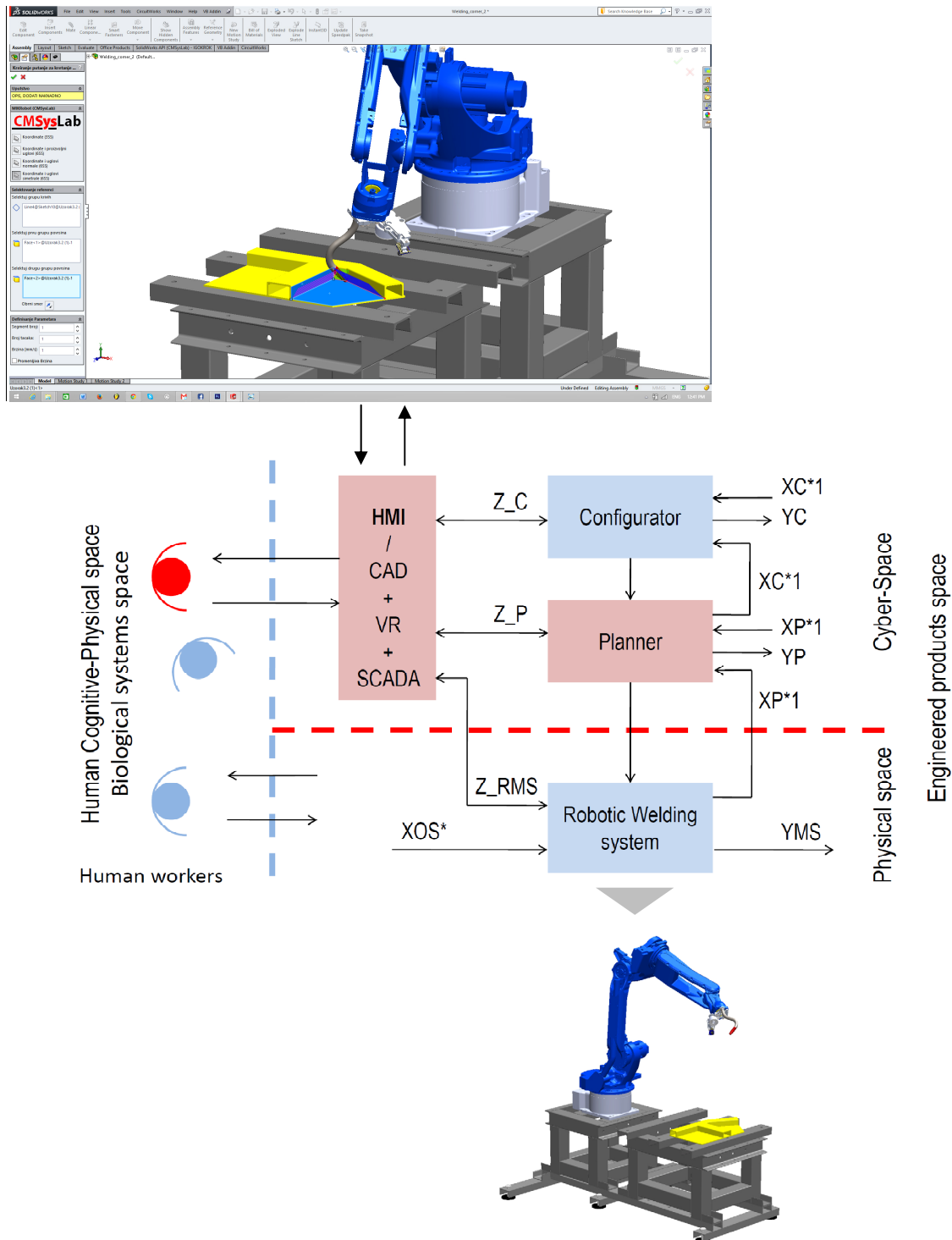
Производна парадигма масовне кастомизације пред истраживачку заједницу наметнула је потребу израде нових производних технологија које ће омогућити одрживу употребљивост у условима екстремно малих производних серија и потребе екстремно брзе реакције на захтеве тржишта (*rapid-to-market*). Паралелно, намеће се и додатни захтев, који је подједнако деликатан, а односи се на применљивост нових производних технологија, укључујући и роботску, у производним окружењима малих и средњих предузећа. Кибернетско-физичка платформа CyberFABRICATOR је управо фокусирана на овај домен. Мада сам концепт битно одудара од стања технолошких основа индустрије Србије на почетку 21. века, то је само привид. Напротив, потребе за оваквим приступом и његовом практичном имплементацијом управо у домену малих и средњих предузећа која се баве производном делатношћу је изузетно велика, а различите баријере (ограниченост људских и финансијских ресурса првенствено) за интензивнији продор високотехнолошких садржаја представљају доминантни лимитирајући фактор за раст конкуритивности домаће индустрије. CyberFABRICATOR кибернетско-физичка платформа која се развија у оквиру пројекта TP35007 пружа одговарајућа решења у овом смислу.

Концепт CyberFABRICATOR кибернетско-физичке платформе специјализоване за технологију роботског заваривања се наводи на слици 10. Током 2014. године истраживачко-развојних активности су биле фокусиране на разради модула за двосмерну спрегу човека са системом и модула планера/репланера кретања, оба маркирана црвеном бојом на блок дијаграму датом на слици 10. Као хардверско-софтверска платформа за развој употребљен је SolidWorks CAD моделер. Изградњом специјализованих модула извршено је прилагођавање овог графичког моделера функцији графичког интерфејса унутар CyberFABRICATOR система. Ови специјализовани модули су у ослоњени на базу структуру SolidWorks CAD моделера и реализовани су кроз комбинацију три основна развојна оквира:

1. SolidWorks Macros – Макро концепт је инхерентно присутан у SolidWorks CAD моделеру (Макрои) и он омогућава да се аутоматизује извршавање стандардних задатака и рутина које се иначе могу у целости извршити и мануелно. Макрои омогућавају изградњу врло комплексних функција које битно поједностављују рад и посебно, омогућавају кроз специјализацију SolidWorks CAD моделера његову доступност и корисницима који располажу сасвим умереним знањима и/или једноставно желе да се посвете процесу а не рутинским пословима.
2. SolidWorks ADD-ins - додатни функционални модули омогућавају креирање напредних функција, које нису стандардно расположиве у оквиру SolidWorks CAD моделера. Ове функције представљају екстензију могућности SolidWorks CAD моделера, без било каквих практичних ограничења. Нове функције се развијају и интегришу у основни систем у оквиру VB.NET-а, C# и C++ програмског језика. Развој ових функција захтева раду у Microsoft Visual Studio развојном окружењу, као и SolidWorks SDK (Software Development Kit).
3. SolidWorks Standalone applications - овај оквир омогућава највиши ниво кастомизације стандардног SolidWorks CAD моделера и изградњу самосталне апликације, која је специјализована за конкретну примену и која је у функционалном смислу одвојена од SolidWorks CAD моделера. За ову врсту развоја неопходна је библиотека SolidWorks API рутина

Из претходног се може извести закључак да стандардни SolidWorks CAD моделер представља погодну основу за развој: 1) специјализованог и *human-friendly* интерфејса и 2) модула за планирање и/или репланирање кретања на бази интеграције сензорских информација које прикупља робот из свог радног окружења. Визуелна повратна спрега, аутоматизација обраде сензорске информације, интеракција са

номиналном геометријском информацијом објекта који се заварује и радног простора робота (виртуелни геометријски модел), аутоматско генерисање коригованог радног задатка и интуитивни интерфејс базиран на визуелном контексту за интеракцију, су суштински атрибути *RoboWELDER CyberFABRICATOR* платформе.



Слика 10: Архитектура кибернетско-физичке платформе за парадигму масовне кастомизације фокусирана на домен малих и средњих производних предузећа – *RoboWELDER CyberFABRICATOR Platform*.

Као генерички пример који се даље може искористити за изградњу специјализованих решења или решења која су прилагођена за конкретну класу задатака за које је пројектован роботски систем за заваривање, наводи се листинг дела програмског кода који је имплементиран на стандардном SolidWorks CAD моделу.

```

Option Explicit
'definisanje promenljivih
Dim swApp As SldWorks.SldWorks
Dim swModel As SldWorks.ModelDoc2
Dim swSelMgr As SldWorks.SelectionMgr
Dim swFeatMgr As SldWorks.FeatureManager
Dim swModelDocExt As SldWorks.ModelDocExtension
Dim swSketchSegment As SldWorks.SketchSegment
Dim swSketchSegObject As Object
Dim vFeatArr As Variant
'dodeljivanje objekata promenljivim
Set swApp = Application.SldWorks
Set swModel = swApp.ActiveDoc
Set swSelMgr = swModel.SelectionManager
Set swModelDocExt = swModel.Extension
Set swFeatMgr = swModel.FeatureManager
'Petlja za proveru tipa selektovanog objekta (da li je sketch segment ili neki
drugi tip)
For i = 1 To swSelMgr.GetSelectedObjectCount2(-1)
Debug.Print swSelMgr.GetSelectedObjectType3(i, -1)
If swSelMgr.GetSelectedObjectType3(i, -1) = 24 Then
Debug.Print "Sketch Segment"
'Posto je selektovani objekat sketch segment, dodeljuje se 'odgovarajucoj
'promenljivoj
Set swSketchSegment = swSelMgr.GetSelectedObject6(i, -1)
Set swSketchSegObject = swSketchSegment
Else
'Ako nije sketch segment, obavesti korisnika
MsgBox "Selektuj sketch segment"
End If
Next
'Deselektuj sve selektovane objekte
swModel.ClearSelection2 True
'Selektuj sketch segment
swSelSplineObject.Select2 True, Empty
'Segmentiraj selektivni segment
vFeatArr = swFeatMgr.InsertReferencePoint(swRefPointAlongCurve, _
_swRefPointAlongCurveEvenlyDistributed, 0#, 40)
'Deselektuj sve selektovane objekte
swModel.ClearSelection2 True

```

У циљу детаљније илустрације из претходно наведеног програмског кода издваја се секвенца која извршава сегментирање трајекторије која следи локацију шава на номиналном геометријском моделу и/или моделу који је коригован увођењем сензорске информације:

```

vFeatArr = swFeatMgr.InsertReferencePoint(swRefPointAlongCurve, _
_swRefPointAlongCurveEvenlyDistributed, 0#, 40)

```

Ова API рутина се позива као део *FeatureManager*-а. Излаз ове рутине је *Feature* односно тачка која се налази у радном простору и чијим се параметрима касније може приступити у оквиру структуре елемената модела. Параметри рутине: *swRefPointAlongCurve* = постави тачку дуж селектоване линије, *swRefPointAlongCurveEvenlyDistributed* = тачке распоређене еквиливантно, 0# = дистанца између тачака или процентуална вредност и 40 представља број тачака, који се уноси ручно или аутоматски генерише на основу унапред изабране резолуције дискретизације. Даље је потребно прикупити координате генерисаних тачака. Секвенца кода која прикупља генерисане тачке изгледа овако:

```

BrojFeatura = 0
For Each vFeat In vFeatArr
BrojFeatura = BrojFeatura + 1
Dim swFeat As SldWorks.Feature
Dim swRefPt As SldWorks.RefPoint
Dim swRefPtData As SldWorks.RefPointFeatureData
Dim swMathPt As SldWorks.MathPoint
Set swFeat = vFeat
Set swRefPt = swFeat.GetSpecificFeature2
Set swRefPtData = swFeat.GetDefinition
Set swMathPt = swRefPt.GetRefPoint
dblPoint(0) = swMathPt.ArrayData(0)

```



```

dblPoint(1) = swMathPt.ArrayData(1)
dblPoint(2) = swMathPt.ArrayData(2)
`Naziv tacke
Debug.Print swFeat.Name
`Koordinate tacke u milimetrima
Debug.Print "Pt = (" & swMathPt.ArrayData(0) * 1000# & ", " & _
swMathPt.ArrayData(1) * 1000# & ", " & swMathPt.ArrayData(2) * 1000# & _ _
")mm"
`Polozaj tacke na krivi
Debug.Print "Distance = " & swRefPtData.Distance * 1000# & " mm"
Next

```

Ова секвенца генерише резултат који се приказује у *immediate* прозору *Visual Basic*-а и он се може даље експортирати у одговарајући запис за пренос у друге рутине НМІ интерфејса или планера (даља обрада или генерисање извршног кода за кретање робота). Генерисани излаз има следећи формат:

```

Point1
Pt = (-81.581008548909, -52.1015079766628, 0) mm
Distance = 7.72822104635979 mm
.
.
Point40
Pt = (135.132706907183, 68.7651672539437, 0) mm
Distance = 309.128841854391 mm

```

Познавање координата тачака дуж изабране/генерисане трајекторије по којој ће се кретати млазница за заваривање није довољно. Неопходна је оријентација млазнице. Следећа рутина генерише векторе оријентације алата за сваку од идентификованих тачака, при чему је сваки вектор одређен са три компоненте, пројекције на осе координатног система.

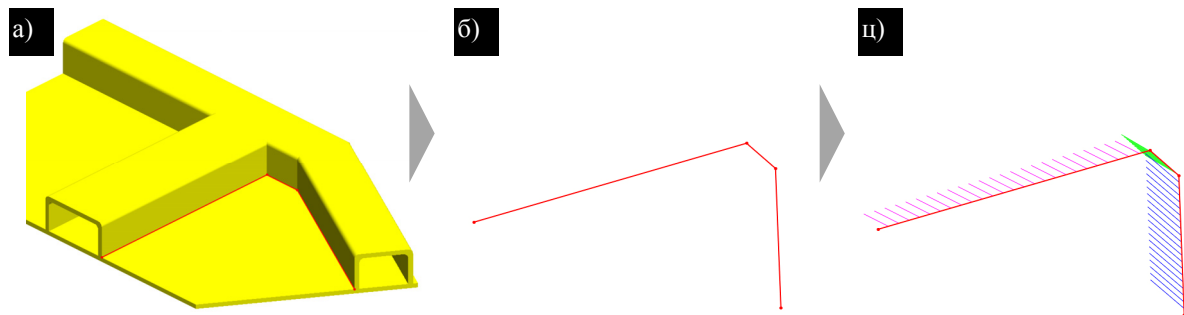
```

`Pronalazenje najblize tacke na povrshini
vClosePt = Surface.GetClosestPointOn(dblPoint(0), dblPoint(1), dblPoint(2))
`Određjivanje smeru normale
bFaceSenseReversed = Face.FaceInSurfaceSense
`Prikupljanje koordinata vektora normale
vEval = Surface.EvaluateAtPoint(vClosePt(0), vClosePt(1), vClosePt(2))
`Provera i promena smeru vektora
If bFaceSenseReversed Then
    dblNormal(0) = -vEval(0)
    dblNormal(1) = -vEval(1)
    dblNormal(2) = -vEval(2)
Else
    dblNormal(0) = vEval(0)
    dblNormal(1) = vEval(1)
    dblNormal(2) = vEval(2)
End If
`Kreiranje krive koja predstavlja normalu
swModel.InsertCurveFileBegin
Status = swModel.InsertCurveFilePoint(vClosePt(0), vClosePt(1), vClosePt(2))
Status = swModel.InsertCurveFilePoint(vClosePt(0) + (dblNormal(0) +
dblNormal2(0)) * 0.05, vClosePt(1) + (dblNormal(1) + dblNormal2(1)) *
_ _0.05,
vClosePt(2) + (dblNormal(2) + dblNormal2(2)) * 0.05)
Status = swModel.InsertCurveFileEnd()
`Promena naziva normale i tacke
Set swFeat2 = swModel.Extension.GetLastFeatureAdded
swFeat.Name = "Tacka " & BrojFeatura
swFeat2.Name = "Normala " & BrojFeatura
`Prikaz koordinata vektora u immediate prozoru
Debug.Print "    Vektor Normale po X: " & dblNormal(0)
Debug.Print "    Vektor Normale po Y: " & dblNormal(1)
Debug.Print "    Vektor Normale po Z: " & dblNormal(2)

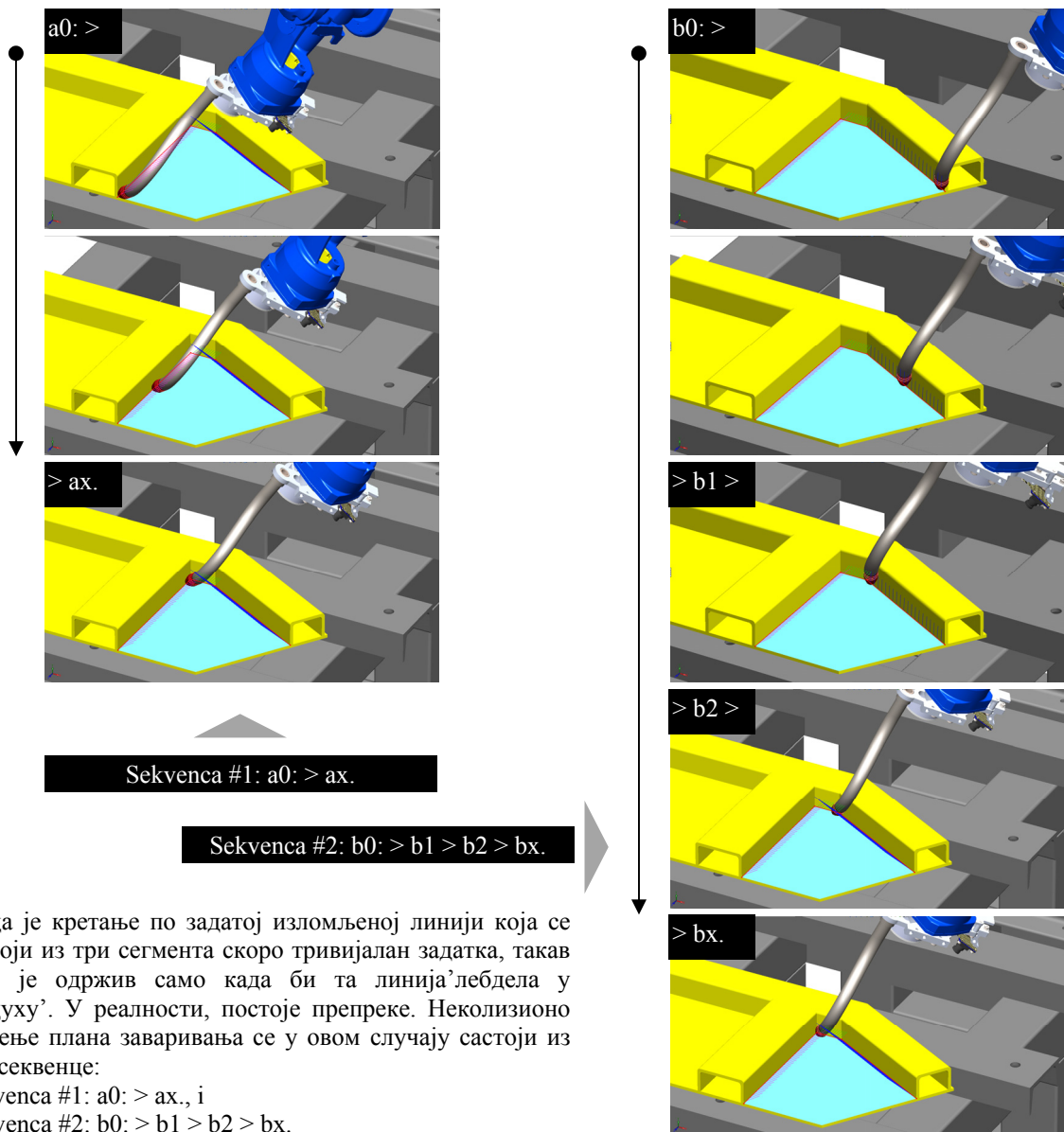
```

Примена ове рутине се даље илуструје на конкретном примеру склопа који се роботски заварује. Овај пример показује како је могуће изградити интерактивни интерфејс који са једне стране користи постојећи геометријски модел који се заварује а са друге стране, кроз потпуно аутоматизоване секвенце рутинског типа, генерише трајекторију по којој се креће млазница система за електролучно заваривање. Поред велике технолошке вредности која је садржана у аутоматизацији сложених геометријских израчунавања неопходних за генерисање извршног кода за управљање кретања робота (битно је

приметити да се не ради само о позицији врха млазнице већ и о њеној специфичној оријентацији у простору, локално у односу на микрогеометрију шава који се формира), испитују се и колизионе ситуације, нуде варијантна решења, а провера валидности трајекторије драстично поједностављује и своди на једноставну сигнализацију визуелног типа (црвена боја колизионог преклапања!).



Слика 11: Номинални геометријски модел склопа који се заварује (а), издвојена номинална трајекторија робота = локација шава (б), и додељена оптимална оријентација млазнице за заваривање, на основу унапред дефинисаних технолошких параметара процеса електролучног заваривања (ц).



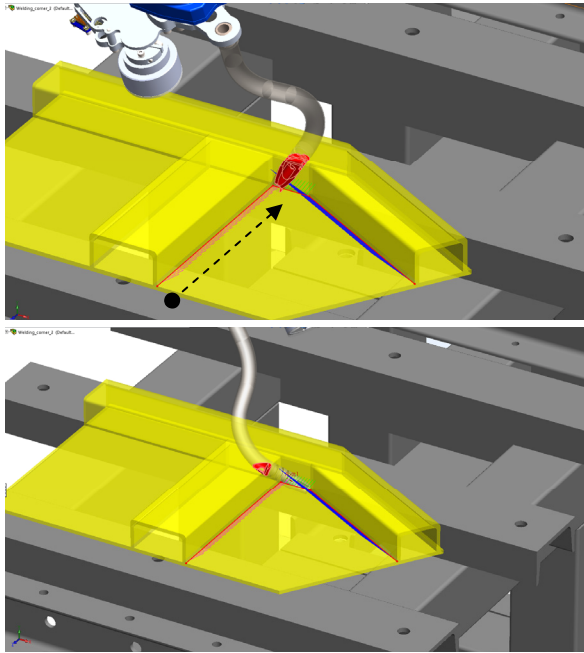
Мада је кретање по задатој изломљеној линији која се састоји из три сегмента скоро тривијалан задатка, такав став је одржив само када би та линија 'лебдела у ваздуху'. У реалности, постоје препреке. Неколизионо решење плана заваривања се у овом случају састоји из две секвенце:

Sekvenca #1: a0: > ax., i

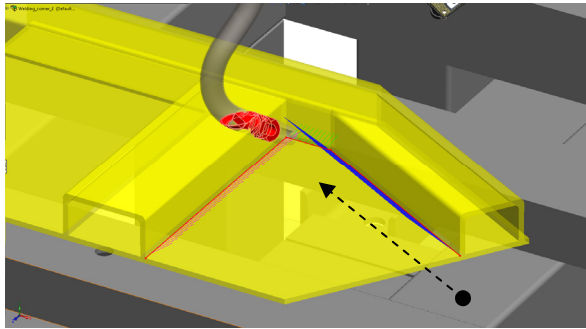
Sekvenca #2: b0: > b1 > b2 > bx.

Слика 12:

наставак на следећој страници



Две алтернативне колизионе тополошке секвенце које немају решење. Једна континуална секвенца није могућа! Извршење овог задатка захтева дељење на две подсеквенце као што је то приказано на горњем делу слике. Интелигентни планер мора да садржи модул тополошке анализе радног окружења.



Слика 12: Пуна визуелизација / графичка симулација процеса заваривања и идентификација колизионих ситуација, на основу којих се даље генерише изводљива трајекторија, односно НОМИНАЛНИ план заваривања.

Резултати:

Планирано:	M51	Број резултата:	1
Остварено:	M24	Број резултата:	1
	M63	Број резултата:	1

Фаза реализације 4: Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 6: Модуларни CNC систем за плазма резање са уграђеном функцијом адаптивног управљања режимом резања – Демонстрациона инсталација у индустријској средини;
Временски оквир: 01/01/2014 - 30/09/2014

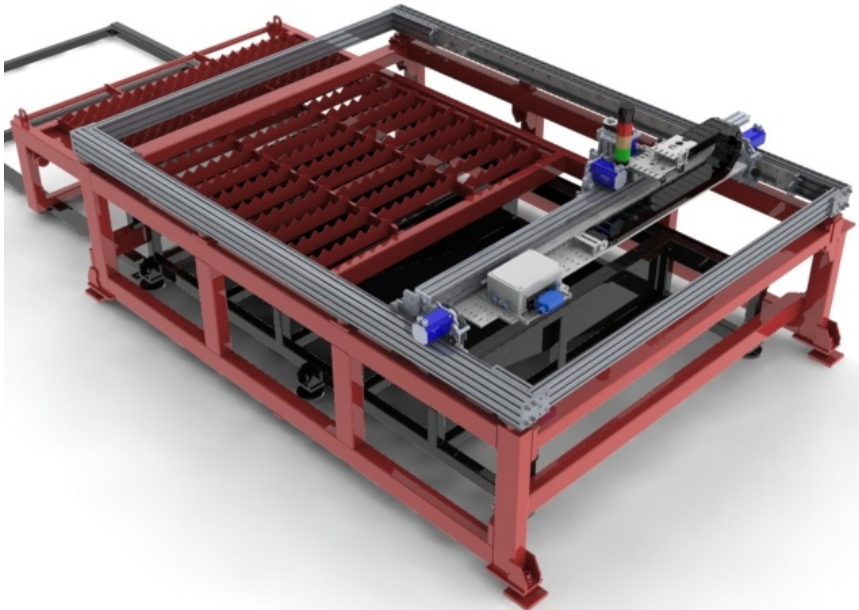
Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_4: Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација.

Машински факултет је у току 2012. године реализовао комплетне пројектне активности модуларног CNC система за плазма резање, на основу чега је даље покренут процес физичке реализације.

Икарбус је за набавку компонената у 2012. години уложио 658.500,00 динара, што износи 30% процењене вредности свих компонената и саставних делова обрадног система.

Због екстремно лошег финансијског стања Икарбуса које је настало губитком посла од 200 аутобуса за београдски ГСП, активности физичке реализације демонстрационе инсталације CNC система за плазма резање су померене на 2014. годину. Нажалост, финансијско пословање Икарбуса се није променило ни у 2014. години. Изражена динамика која је постојала током иницијалне фазе успостављања сарадње са компанијом Мерцедес је после реализације првог аутобуса током првог квартала 2014. године једноставно нестала и Икарбус се поново нашао у дубоким финансијским тешкоћама јер је практично остао без посла. У последњем кварталу 2014. године су се активности сарадње са Мерцедесом поново интензивирале, што је довело до уговарања пар послова и улазак у преговоре за већи контингент од 50 аутобуса за ГСБ, и око 150 аутобуса за друге градске превознике и приватне аутопревознике, чиме се финансијска ситуација побољшала и створила нова перспектива. Ово побољшање је током децембра месеца наговестило активирање наставка развојних активности на реализацији пројектованог CNC система за плазма резање. Икарбус је уплатио партиципацију за пројекат TP35007 у целости и иницирао састанак мешовитог пројектног тима за крај јануара месеца 2015. године. Намера је да се фазно, у складу са расположивим финансијским средствима, реализује пројектована опрема током првог и другог квартала 2015. године.

У технолошком смислу, увођење у производњу CNC система за плазма резање би довео до значајног унапређења постојећег стања (гасно резање са оптичким вођењем горионика по контури нацртаној на папиру), не само по питању квалитета, већ и продуктивности. Спроведена анализа за изабраног репрезента (нископодни Икарбус зглобни аутобус), показује да је укупан број позиција од лима 331 (206 различитих, велика варијантност!), са укупном дужином контура од 623 m, укупне тежине 592 kg, при чему је 64% делова од лима дебљине веће од 3мм (сем пар изузетака који се израђује од лима дебљине 35мм сви остали делови су од лима дебљине једнаке или мање од 10мм). **Укупно главно време потребно за резање применом технологије плазма резања износи мање од 2.5 h.** Дакле, поред значајног унапређења квалитета резања, примена технологије нумеричког плазма резања драстично утиче на повећање продуктивности. Процењује се да би се овом технологијом могли да изрежу сви потребни делови за два репрезента у једној смени. Изглед пројектованог система за плазма резање је приказан на слици 13.



Слика 13: Приказ виртуелног параметризованог модела CNC обрадног система за плазма резање – аутоматизација процеса пројектовања са практично тренутним одзивом на захтеве корисника. Пројектовање нове машине траје неколико минута после дефинисања захтева корисника. Поред уштеде у времену, појава грешке је практично немогућа. Уз радионичку документацију формира се и спецификација стандардних саставних делова. Ово је типичан пример кастомизованог производа.

Резултати:

Планирано:	M82	Број резултата:	1
Остварено:	M21	Број резултата:	1
	M33	Број резултата:	1

Фаза реализације 4: Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 7: Инсталација 1: Монтажа заварених склопова / роботско заваривање, дигитализација геометрије завареног склопа и димензиона метрологија ласерском триангулацијом и триангулацијом структуриране светлости – Трансфер на роботску платформу MA1400 / Део 2;
Временски оквир: 01/01/2014 - 31/12/2014

Ова активност припада радном пакету TP35007-PP_4: Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација.

Робот YASKAWA MA 1400 је део континента капиталне опреме на пројекту TP35007 који је испоручен у првом кварталу 2013. године. То је стратешка опрема за планиране истраживачко-развојне активности и по својим техничким карактеристикама је јединствену у истраживачком простору Србије за домен технологије роботског електролучног заваривања. Током 2014. године учињени су напори да се робот

опреми неопходним окружењем, првенствено хардверским а затим и софтверским, са циљем да се изгради једна специјализована експериментална платформа за домен роботског заваривања.

У контексту претходно наведеног основни резултат који је остварен током 2014. године је развој и реализација специјализованог роботског система за генерисање визуелне повратне спреге, који је са једне стране прилагођен потребама раоботског заваривања (хардверска и софтверска специјализација), а са друге, у оквиру којег су интегрисане различите оптроничке технологије, које обезбеђују мултимодалну функционалност сензорског система за коју истраживачки тим на пројекту TP35007 сматра да је од суштинског значаја за успешну имплементацију концепта адаптивног заваривања у оквиру *RoboWELDER CyberFABRICATOR* система.

Мултимодалност омогућава да се надредјеном систему (робот и човек у симбиози) проследи врло сложен, а самим тим и врло садржајан информациони садржај о стању геометрије склопа који се заварује, али увек у мери која је објективно потребна за извршавање постављеног радног задатка. Овакав информациони канал ка физичком делу роботског система се даље, преко сложене система обраде сензорске информације, спреже са вишим хијерархијским нивоима, који сем примарне обраде сигнала, укључују и апстрактне функције планирања радног задатка и двосмерне интеракције са оператором који надзире и/или управља роботским системом. Комплексност ове врсте је суштинска разлика између постојећих технологија и иновативне технологије која се кроз истраживачко развојне активности на пројекту TP35007 успоставља. У комплексности те врсте садржана је респективна технолошка вредност овог приступа, а мултимодалност представља његов основни иновативни садржај.

Развијени мултимодални систем роботског гледања се састоји из шест функционалних целина - модула:

Модул 1: Мултимодални генератор структуриране светлости

Мултимодални генератор структуриране светлости састоји се из следећих функционалних целина: 1)ласерски тачкасти извор светлости, 2)ласерски линијски извор светлости, и 3)оптички генератор 2д монохроматске и/или колор мапе структуриране светлости. Наведене функционалне целине су у потпуности програмабилне и могу се активирати аутоматски помоћу локалног управљачког система којим се контролише рад мултимодалног склопа генератора светлости.

Модул 2: Оптички сензорски систем за аквизицију геометријске информације са интегрисаним извором дифузне беле светлости великог интензитета

Оптички сензорски систем за аквизицију геометријске информације се састоји из једне или више камера, које преко објектива константне фокалне дужине и одговарајућег видног поља прикупљају информацију о геометрији радног простора преко одраза светлосне побуде коју генерише и у радни простор усмерава мултимодални генератор структуриране светлости (Модул 1).

Модул 3: Микропроцесорски систем за примарну обраду сигнала у реалном времену са опцијом IMU модулом за референцирање сензорског система у глобалном координатном систему радног задатка

У оквиру модула за примарну обраду сигнала који генерише модул 2 оптичког сензора, реализују се две групе активности:

Препроцесор А: Примарна обрада сировог фрејма (raw формат записа) и генерисање неорганизованог скупа тачака у 3д простору (облак тачака / point cloud) применом триангулационих релација над одразом пројектованог садржаја на објекат који се дигитализује у облику тачке, линије или 2д кодиране мапа,

Препроцесор Б: Спајање/стапање парцијалних тродимензионих скупова тачака које генерише Препроцесор А из различитих погледа на сцену / објекат / простор који се дигитализује, применом одговарајућих алгоритама за регистрацију и компарацију. Препроцесор Б врши регистрацију и скупа тачака модела генерисаног у неком CAD развојном пакету и скупа тачака које је генерисао Препроцесор А. У овом случају, могуће је урадити и поређење, а одагте генерисати и информацију о грешци, као локалној квантитативној мери сличности/различитости. Трансформационе матрице које настају у процесу регистрације могу се такође разумети као квантитативне информације о грешци позиционирања објекта који се анализира у радном простору робота (за разлику од пртходног, оне су глобалног карактера и односе се на комплетан скуп тачака, без обзира на успостављене кореспонденције!).

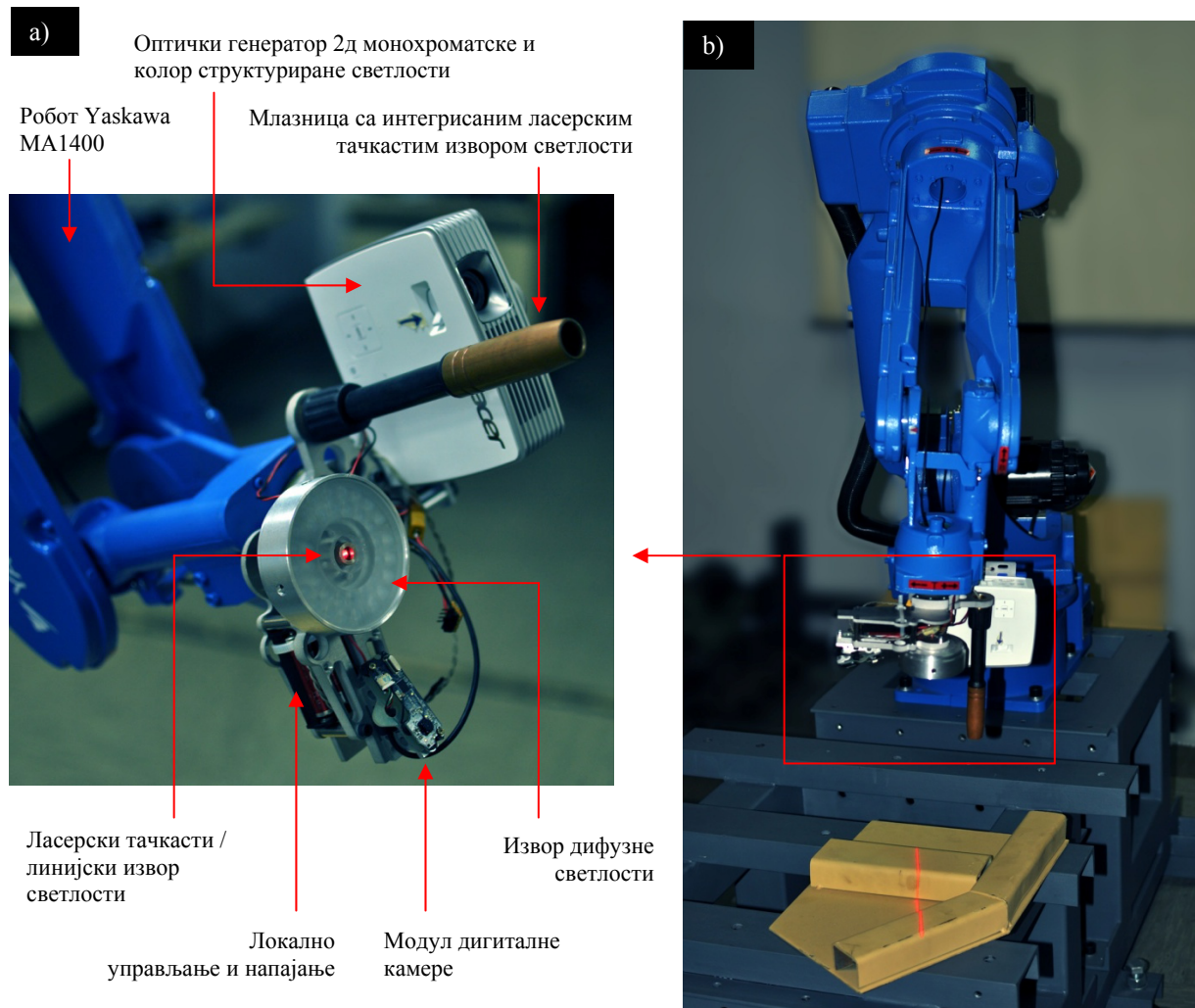
Модул 4: Рачунарски систем за секундарну обраду сигнала и 3д визуелизацију радног простора (само зона од примарног технолошког интереса)

Препроцесори А и Б генеришу улаз за Модул 4. У методолошком смислу, секундарна обрада подразумева трансформацију неуредјеног у уредјени скуп тачака и тиме његово преводјење у дигитални модел објекта. Ову трансформацију је могуће остварити кроз технике базирани на Воронои алгоритмима, где се препознају суседне тачке и повезују раванским примитивима у облику троугла. Затим се спроводи филтрација и сличне активности над тако добијеним просторним објектом. Технолошки вреднији приступ базиран је на семантичкој трансформацији. Њен основни излаз је сегментација примарног скупа тачака у подскупове кроз препознавање геометријских примитива попут равни или цилиндра (уместо суседности, препознају се сложеније релације између подскупова тачака).

Модул 5: Human-friendly интерфејс за спрегу човека и роботског система,

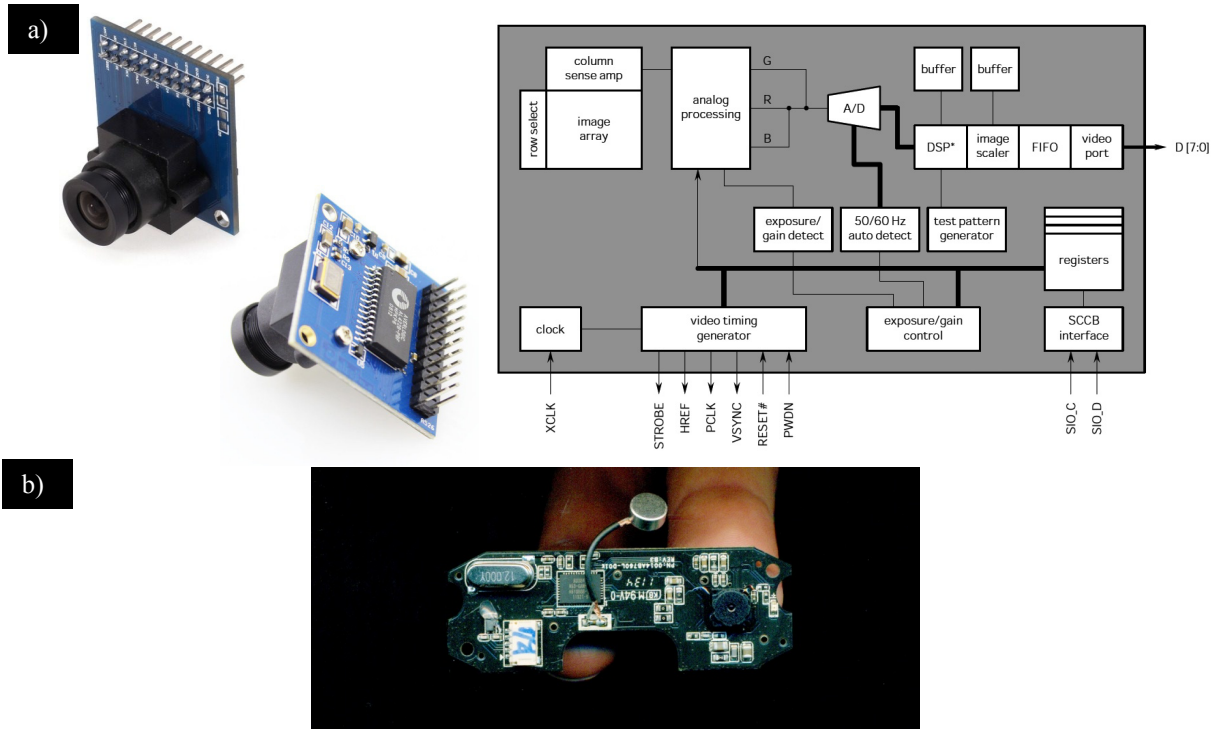
Модул 6: Виртуелна млазница – симулатор извршавања радног задатка у физичком простору на бази ласерског тачкастог показивача.

На слици 14 приказан је изглед прототипа развијеног мултимодалног система роботског гледања специјализованог за задатке роботског електролучног заваривања.



Слика 14: Изглед реализованог прототипа мултимодалног система роботског гледања специјализованог за задатке роботског електролучног заваривања: а) Детаљи хардвера сензорског модула који се уградјује на врх робота, б) Роботски систем базиран на Yaskawa MA1400 роботу специјализованом за роботско заваривање.

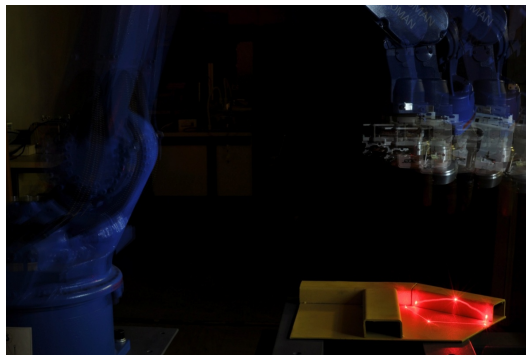
Минимална конфигурација оптичког сензорског система се састоји из једне камере која је уградјена на начин да са извором светлости (Модул 1) чини триангулациони систем. Детаљи су наведени на слици 15.



Слика 15: Сензорски модул: а) Оптички систем базиран на OmniVision OV7670 камери интегрисаној у једном чипу, изглед камере са M12 објективом и функционална шема камере, б) Оптички систем базиран на Logitech C170 камери.

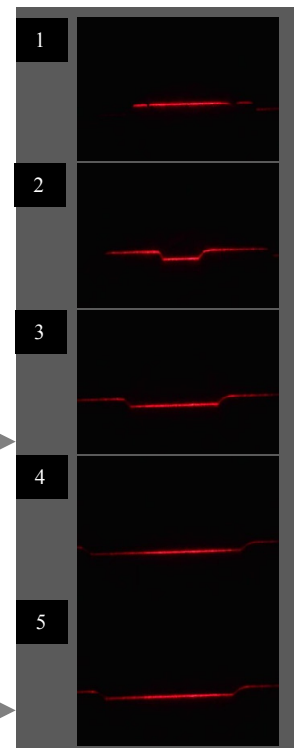
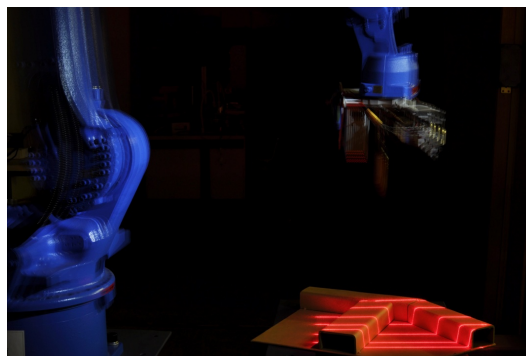
Мод 2:

Секвенца скенирања у режиму рада са тачкастим ласерским извором светлости. Овај мод је погодан за базирање и калибрацију система.



Мод 3:

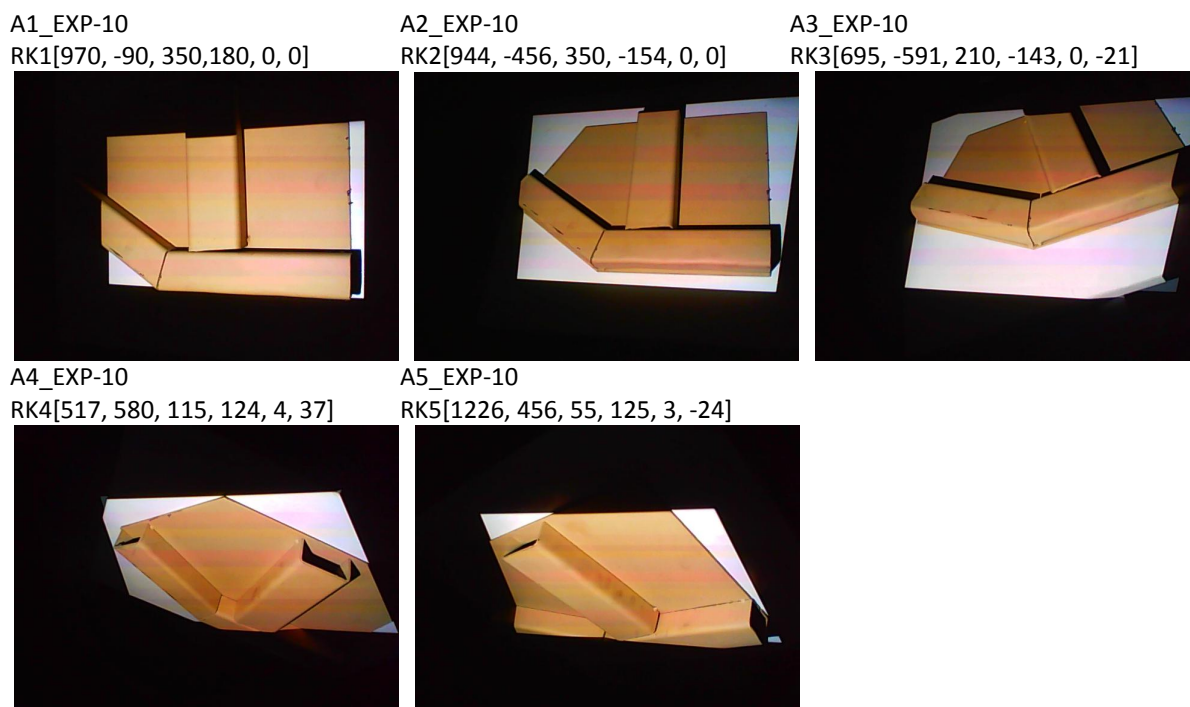
Секвенца скенирања у режиму рада са линијским ласерским извором светлости. Овај мод је погодан за скенирање микрогеометрије-



Слика 16. Приказ секвенце скенирања роботског система за вештачко гледање у Мод 2 и Мод 3 радном режиму. Фотографије приказују кретање врха робота. Мод 2: Секвенца одређивања локације чава помоћу два триплета тачака. Мод 3: Скенирање микрогеометрије угаоног споја, на десној страни приказани су корелациони фрејмови које генерише дигитална камера.

Рад система вештачког гледања у режиму који дефинише Мод 4 је најкомплекснији најпродуктивнији. Супербрзом триангулацијом се у кратком временском интервалу врши аквизиција геометрије комплетног

објекта или његових подскупова. У овом моду рада користи се пројектор структуриране светлости који на сцену пројектује једну или серију кодних мапа. Одговарајући алгоритам који подржава овај мод рада и који одговара изабраној врсти кодне мапе, на основу захваћеног одраза оптичким системом, израчунава скуп тачака, организованих као матрица или као вектор, са његовим елементима. Пројектор је као и оптички сензор дигитални систем, тако да је његова мапа такође дискретна. За 5 различитих погледа (фрејм са приказом сцене генерисан у Моду 1) који су приказани на слици 17, на слици 18 је приказан одзив сензорског система са 16 фрејмова различите хоризонталне и вертикалне резолуције (кодна мапа 2^{16} дели кодну раван на 65536 2-d кванта, то такође значи да се симултано врши триангулација 65536 и одређује непозната просторна z-координата).



Слика 18: Излаз који се генерише у режиму Мод 1, пет погледа на радни простор/објекат (реални пример завареног склопа из производног компаније Велпан из Кикинде, контејнер NM10), вектор координата робота: $RKx [X, Y, Z, Rx, Ry, Rz]$.

Када се примарном обрадом генеришу просторни скупови тачака, у оквиру Препроцесора Б софтверског модула остварује се функција њихове фузије. Процес фузије, или како се то у специфичном жаргону области која се бави проблематиком 3d дигитализације назива 'регистрација', је врло комплексан математички задатак, који се дели на две основне групе проблема: 1) крута регистрација и б) мека регистрација. Концепт круте регистрације се даље илуструје на примеру два скупа тачака, скуп референтног модела (m) који садржи N_m елемената и скуп (скенираних) података (d) који садржи N_d елемената. Са T је означен трансформациони оператор:

$$T_{2D}(a; x) = T_{2D}(\theta, t_x, t_y; x) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}, \quad (1)$$

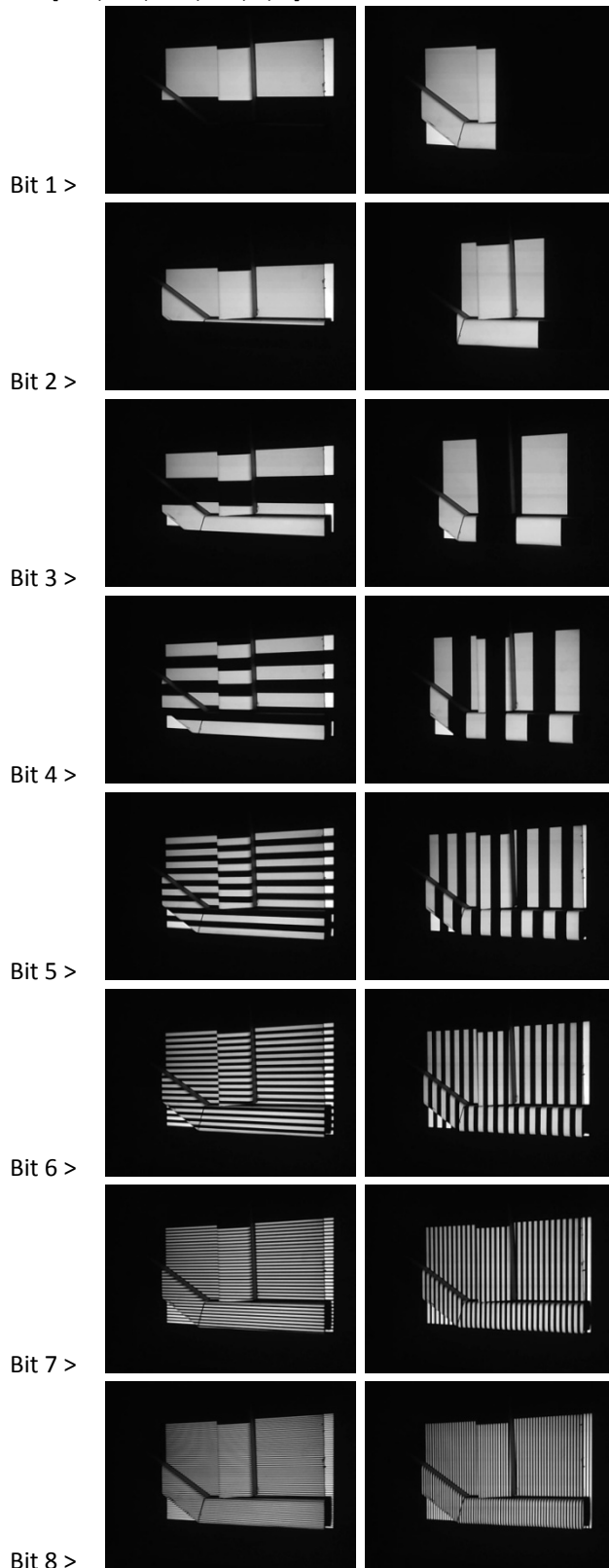
који када се примени на скуп података на најбољи начин преклапа скуп тачака података и скуп тачака референтног модела. Квалитет подешавања је одређен функцијом грешке:

$$\varepsilon^2(|x|) = \|x\|^2, \quad (2)$$

Суштински проблем у израчунавању грешке подешавања је проблем кореспонденције, односно проблем утврђивања коресподентних парова тачака, једне које припада референтном моделу и друге која припада скупу података генерисаних процесом скенирања (резултат рада Препроцесор А модула за препроцесирање сензорских података). Кореспонденција се може математички изразити помоћу неке функције $\phi(i)$. У општем случају број елемената скупа тачака референтног модела и скупа тачака података није једнак. Дакле, задатак кореспонденције није могуће у потпуности остварити. Такође, уколико је поглед којим су генерисане тачке података делимично преклопљен са погледом из којег су генерисане тачке модела, кореспонденцију није могуће у потпуности остварити.

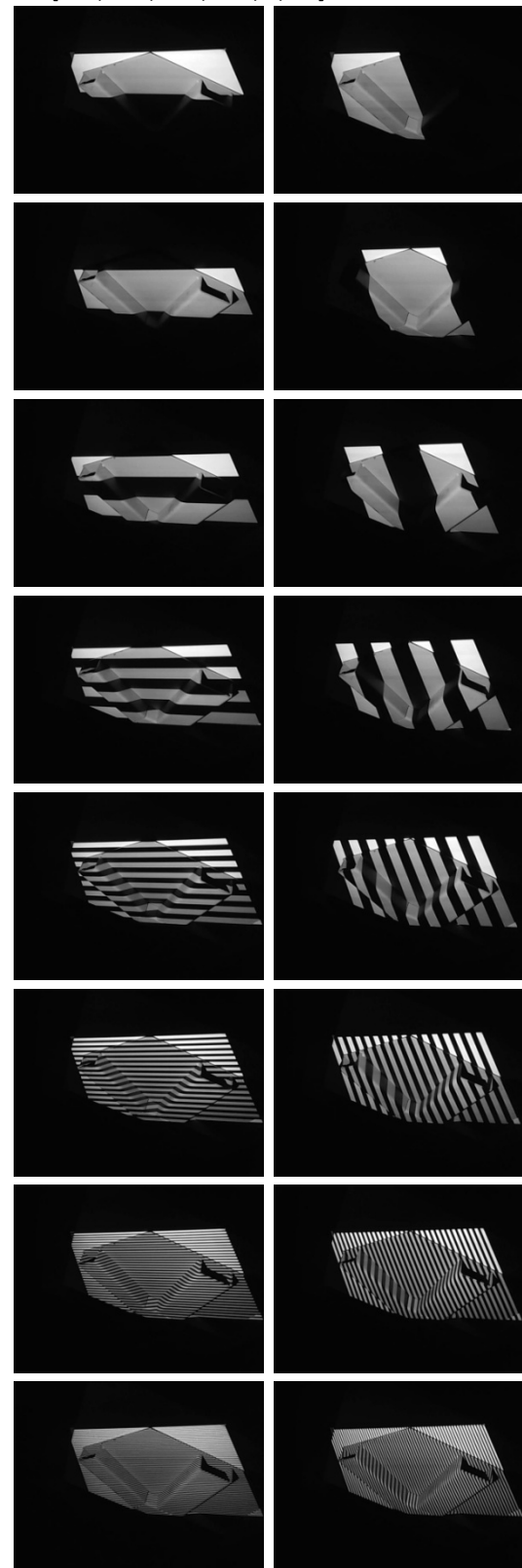
A1_EXP-10

RK1[970, -90, 350, 180, 0, 0]



A4_EXP-10

RK4[517, 580, 115, 124, 4, 37]



Слика 18: Излаз који генерише сензорски систем у Мод 4 режиму рада;. Структурирана мапа монохроматска са Graz-овим 2x8 битним кодом; Повезано са сликом 17, због ограниченог простора приказани одрази добијени из погледа A1 и A4; На последњем фрејму у низу тешко се разазнају кодне линије због умањеног приказа.

Да би се разрешио овај проблем (проблем парцијалног пресека скупа модела и скупа података) уводи се оператор ω који има јединичну вредност за тачке које се могу упарити и нулту за оне које се не могу упарити. На основу тога, функционал грешке који се минимизира у процесу регистрације добија свој примарни облик:

$$E(a; \phi) = \sum_{i=1}^{N_d} \omega_i \varepsilon^2(|m_{\phi(i)} - T(a; d_i)|), \quad (3)$$

У општем случају функција ϕ је део минимизационог процеса. Ова функција може да буде дистанца између коресподентних парова модела и података, одакле се (3) доводи на облик:

$$E(a) = \sum_{i=1}^{N_d} \omega_i \min_j \varepsilon^2(|m_j - T(a; d_i)|), \quad (4)$$

из чега даље следи коначна релација којом се дефинишу непознати параметри трансформационог оператора $T(a; x)$, који за случај 2d регистрације имају значење које је дефинисано релацијом (1):

$$\hat{a} = \arg \min_a \sum_{i=1}^{N_d} \omega_i \min_j \varepsilon^2(|m_j - T(a; d_i)|), \quad (5)$$

Овако постављен оптимизациони задатак нема своје експлицитно решење. Најпознатији и у пракси највише примењиван итеративни алгоритам је ICP алгоритам (*Iterated Closest Point*), који се састоји из два основна корака, означена са С и са Т. Они су математички формулисани на следећи начин:

Корак С. Израчунај коресподениције користећи релацију:

$$\phi(i) = \arg \min_{j \in \{1, \dots, N_m\}} \varepsilon^2(|m_j - T(a; d_i)|), \quad i = 1 \dots N_d, \quad (6)$$

тако да $m_{\phi(i)}$ је најближа тачка из скупа тачака модела тачки ди која је трансформисана текућим параметрима трансформационог оператора a_k .

Корак Т. Ажурирај трансформацију, и израчунај:

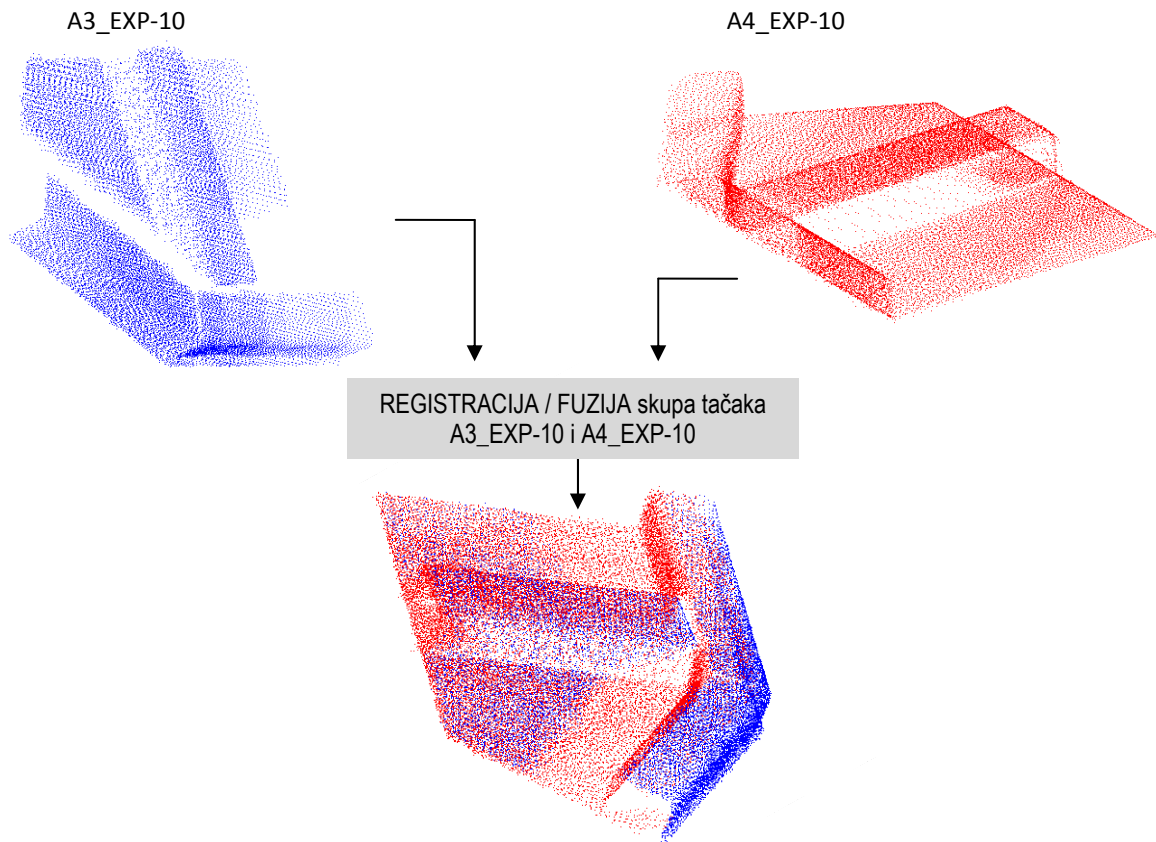
$$a_{k+1} = \arg \min_a \sum_{i=1}^{N_d} \varepsilon^2(|m_{\phi(i)} - T(a; d_i)|), \quad (7)$$

У већини случајева $T(a; x)$ се израчунава у затвореној форми или применом технике декомпозиције сингуларних вредности матрице (svd).

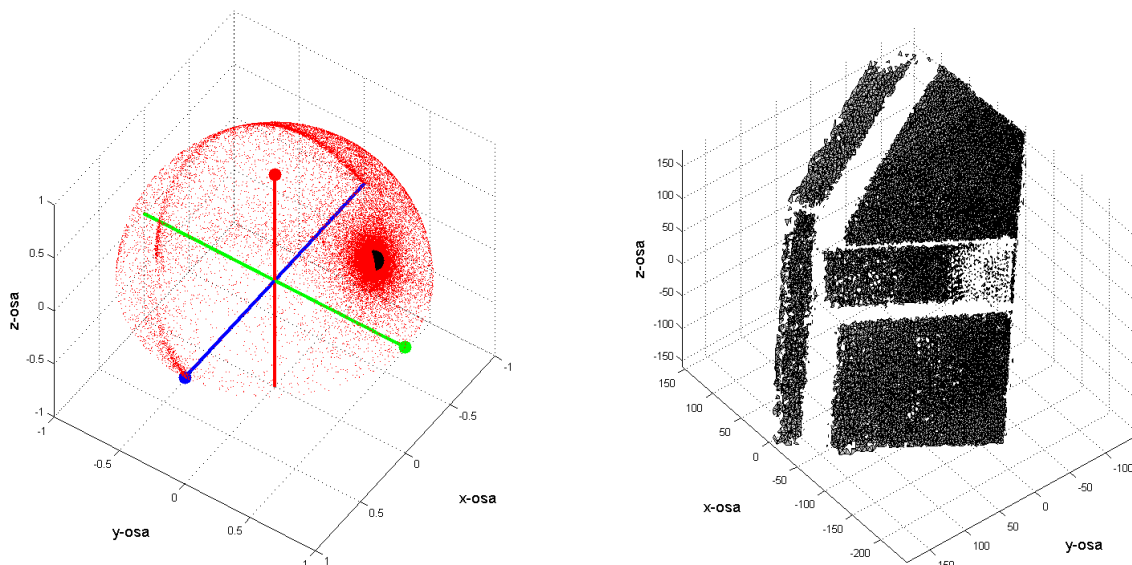
Конвергенција овог алгоритма ка локалном минимуму је гарантована. Избором одговарајућег иницијалног скупа параметара, могуће је постићи и глобални минимум грешке коресподенције. На слици 19 приказан је пример регистрације два скупа тачака, један генерисан у референтном погледу, а други у наредном погледу. Задатак регистрације се може остварити и применом алгоритма који су базирани на Хаусдорфовој дистанци. Ипак, Хаусдорфова дистанца се на најефикаснији начин користи за задатак компарације и квантификацију грешке.

Модул 4 је модул кроз који се остварује секундарна обраду сигнала и 3d визуелизација радног простора (само зона од примарног технолошког интереса). Препроцесори А и Б генеришу улаз за Модул 4. У методолошком смислу, секундарна обрада подразумева трансформацију неуредјеног у уредјени скуп тачака и тиме његово преводјење у дигитални модел објекта. Ову трансформацију је могуће остварити кроз технике базирани на Вороној алгоритмима, где се препознају суседне тачке и повезују раванским примитивима у облику троугла. Када се изврши триангулација регистрованих скупова тачака, затим се спроводи филтрација и сличне активности над тако добијеним просторним објектом. Технолошки вреднији приступ базиран је на семантичкој трансформацији. Њен основни излаз је сегментација примарног скупа тачака у подскупе кроз препознавање геометријских примитива попут равни или цилиндра (уместо суседности, препознају се сложеније релације између подскупова тачака). RANSAC алгоритам се врло често примењује у овом контексту. Овај алгоритам је у својој основи статистичке природе. Ипак, постоје и рачунски ефикаснији алгоритми који су погодни за примену у реалном времену. На слици 20 приказан је концепт на чијем се развоју ради у оквиру пројекта TP35007. Овај приступ је базиран на фази-класификацији нормала троугла. Прелиминарни резултати спроведених испитивања показују одличне перформансе у препознавању и сегментацији геометријских примитива, са рачунском ефикасношћу која омогућава примену у реалном времену у оквиру *RoboWELDER CyberFABRICATOR*

система. У оквиру TP35007 пројекта спроводе се даља интензивна истраживања у овом домену. Наредни, у хијерархијском смислу највиши и најкомплекснији корак, је препознавање геометријских особености које су технолошке природе и релевантне за процес заваривања, односно извршења задатка који се поставља пред робота.



Слика 19: Пример регистрације два скупа просторних тачака.



Слика 20: Сегментација генерисаног просторног модела развијеном методом за препознавање компланарних тачака применом фази-кластеровања вектора нормала троуглова. Метода је врло брза и оптимизирана за примену у реалном времену. Лево: јединична сфера нормала свих троуглова са идентификованим доминантним центром фазикластера $C = [-0.0063, 0.7538, 0.6570]$ (приказано као цртна тачка). Десно: модел са приказаним троугловима чије нормалне имају дистанцу од ± 0.1 . Даља сегментација могућа на бази додатних, чисто геометријских критеријума компактности.

Резултати:

Планирано:	M63 Број резултата: 2
Остварено:	M85 Број резултата: 1
Остварено:	M63 Број резултата: 3
	M85 Број резултата: 1

Фаза реализације 4:	Експериментална верификација/демонстрација у лабораторијским условима
Активност 8:	Инсталација 2: Монтажа малих механичких склопова, операције роботизованог спајања делова с укљученом функцијом адативног понашања аквизицијом генерализованог вектора силе спајања – Трансфер на роботску платформу SIE 10F / Део 2;
Временски оквир:	01/01/2014 - 31/12/2014

Ова активност припада радном пакету TP35007-PII_4: Практична верификација и изградња демонстрационих инсталација и односи се на робот YASKAWA SIA 10F.

Робот YASKAWA SIA 10F је део континента капиталне опреме на пројекту TP35007 који је испоручен средином 2013. године. То је стратешка опрема за спровођење планираних истраживачко-развојних активности. По својим техничким карактеристикама, представља јединствену експерименталну платформу у истраживачком простору Србије. Пуно искоришћење ових потенцијала повезано је са знањем **како да се разреше ограничења која су повезана са отвореношћу управљачког система**. Истраживачки напори током 2014. године били су усмерени у овом правцу, превентивно у контексту стварања техничких предуслова за реализацију различитих алгоритама адаптивног спајања делова у технологији роботске монтаже.

Генерално, успешна примена робота у извршавању задатака спајања делова и других задатака на којима почива технологија монтаже је повезана са три групе техничких проблема:

- Проблем 1 - Проблем манипулативних својстава, односно проблем механике робота оптимално прилагођене класи задатака из домена технологије монтаже;
- Проблем 2 - Проблем сензорске интеракције са окружењем, првенствено визуелна информација и информација о сили за класу задатака у којој робот остварује физичку интеракцију са окружењем;
- Проблем 3 - Проблем обраде сензорских информација и шири когнитивни аспекти, укључујући и својства интелигенције.

Експериментални лабораторијски систем на којој су реализоване активности изградње отвореног система роботског управљања састоји се из следећих подсистема:

1. Редундантни антропоморфни робот Yaskawa SIA 10F, носивости 10 кг и дохвата 720мм,
2. Управљачки систем робота Yaskawa FS100 са екстремно брзим повратним спрегама (1ms),
3. РС радна станица са Yaskawa MotoPlus SDK развојним системом и надређеним управљачким системом за интеракцију са управљачким системом робота у реалном времену и интерфејсом ка хардверским у/и каналима управљачког система робота,
4. Сензор силе са пратећим системом за кондиционирање и комуникацију, и
5. Пратећи механички и сензорски хардвер/софтвер за спровођење експеримента цилиндричног спајања и експеримента управљања попустљивошћу врха робота.

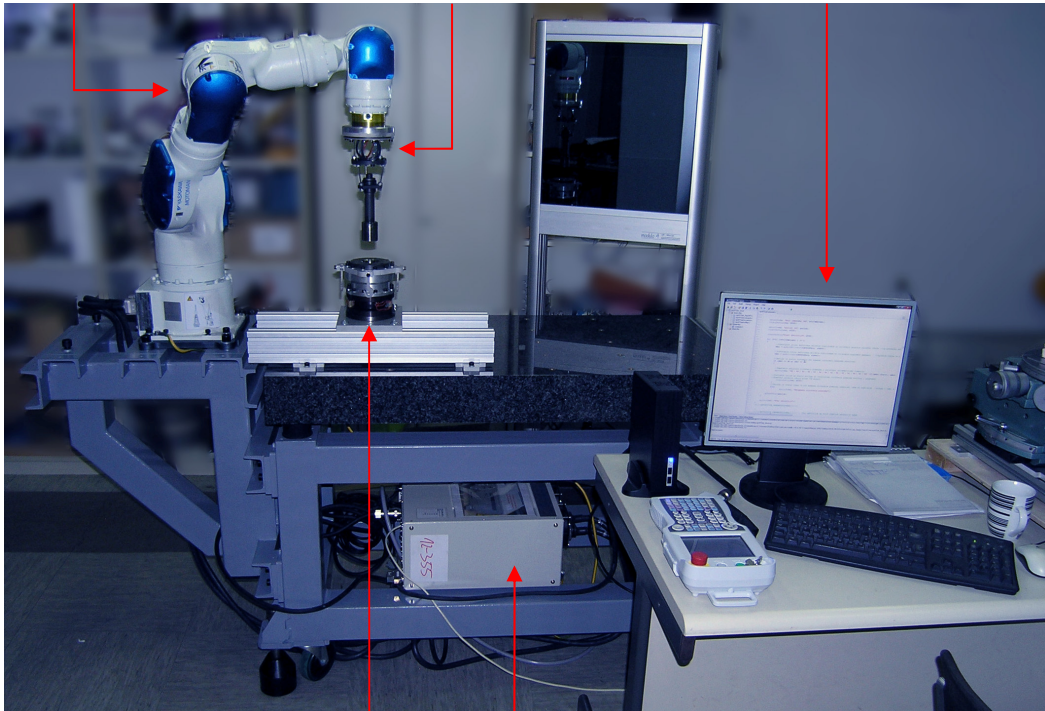
Оваква хардверско/софтверска архитектура је отворена и као РОС (*Robot Operating System*) библиотеци развојних и апликативних алата. Физички изглед експерименталног роботског система приказан је на слици 21. Даље се наводе само детаљи који се односе на MotoPlus SDK модул.

Компанија Yaskawa је развила MotoPlus (*Motoman Professional Programming Language for Superior Use*) SDK систем и учинила га комерцијално доступим током 2013. године, са циљем да одговори на експоненцијално растуће потребе тржишта, индустрије и истраживачких лабораторија за развојем такозваних 'напредних' (*advanced*) апликација, односно нових индустријских примена робота које захтевају адаптивно понашање робота у извршавању радних задатака и његове интензивне интеракције са радним окружењем. Дакле, са аспекта управљања, фокус MotoPlus SDK система није на управљању роботским механизмом, већ на управљању интеракције робота са окружењем.

1. Yaskawa SIA 10F
7 d.o.f. редундантни
робот

5. Пратећи хардвер за
експерименте
спајања

3. PC клијент радна станица са
Yaskawa MotoPlus SDK
развијним системом



4. Сензор силе + кондиционер

2. Yaskawa FS100 робот контролер са VxWORK
RTOS оперативним системом (функција
сервера)

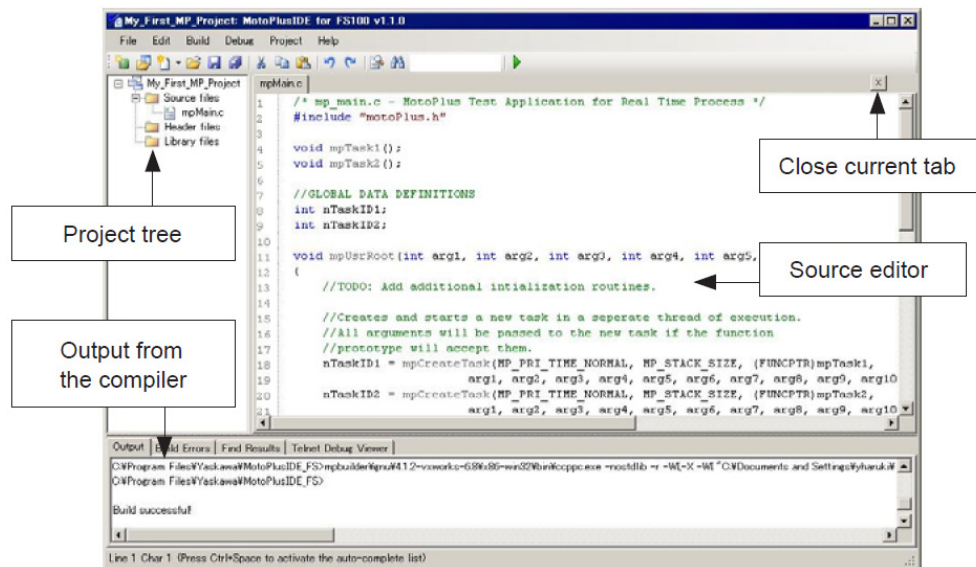
Слика 21: Роботски систем отворене архитектуре за лабораторијско експериментисање у области технологије монтаже.

У основи, MotoPlus SDK је специјализовани софтверски систем, развијно окружење, које омогућава да се на регуларан и поуздан начин **приступи базним функцијама управљачког система робота, његовим системским регистрима и системским параметрима, и да се на њих утиче у реалном времену.** На бази ове функционалности, могућ је развој и имплементација различитих адаптивних управљачких алгоритама. У оквиру MotoPlus SDK развијног система ови алгоритми се кодирају у C језику, преводе, и у извршном облику, *off-line* преносе на управљачки систем робота. У радном моду, CPU управљачког система робота извршава ове алгоритме симултано са основним задатком (такозвани *JOB Task*) који је програмиран кроз конвенционални систем за развој апликација. Оваква врста интеракције програмера и управљачког система робота кроз конвенционални систем за развој апликација, намењен 'обичном' кориснику, није могућа. Управљачки систем FS100 и MotoPlus SDK као његова надоградња, чине функционално комплементарну и комплетну хардверско-софтверску платформу која је у развојно-апликативном смислу у потпуности отворена.

Са аспекта основне архитектуре, MotoPlus SDK се инсталира на IBM PC компатибилном рачунару, а веза са управљачким системом робота FS100 се остварује преко Ethernet LAN мрежног адаптера. Оваква архитектура је могућа јер је FS100 управљачки систем базиран на IBM PC компатибилној хардверској платформи и VxWORKS RTOS, оперативним системом специјализованим за примене које захтевају рад у реалном времену. FS100 у овом контексту има функцију сервера који остварује двосмерну комуникацију са клијентском структуром, коју чине: 1) локални рачунари на којима се остварује управљачка или надзорна функција, 2) интелигентни сензорски и актуациони системи и 3) интерфејс модули за приступ Интернет мрежним сервисима.

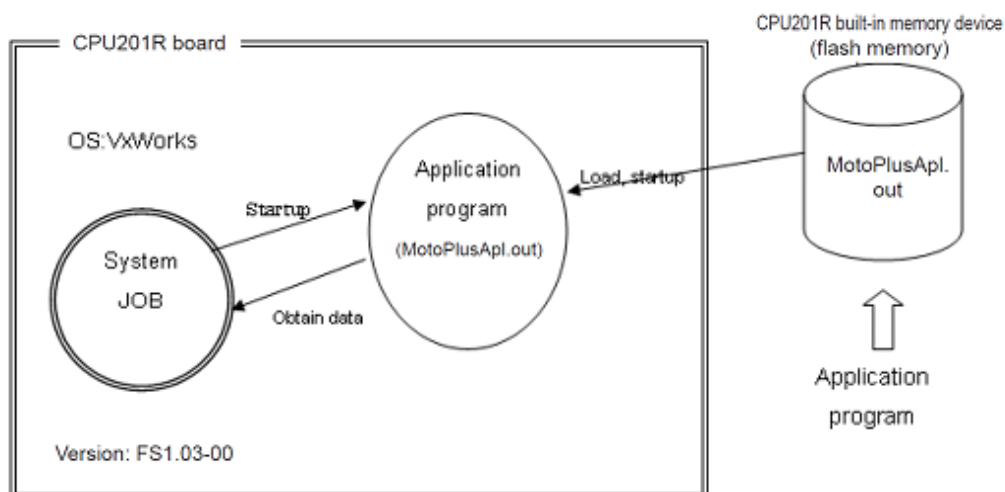
Језгро MotoPlus SDK развијног система чини библиотека C рутина, које су компатибилне са хардверском и софтверском платформом FS100 управљачког система робота. За кодирање неког конкретног управљачког алгоритама, односно неке конкретне апликације која излази изван оквира који се кодирају конвенционалним развијним системом, поред MotoPlus SDK библиотекe могу се употребити и стандардне библиотеке C програмског језика које су такође садржане у MotoPlus SDK развијном систему или се додају из екстерних извора.

За развој апликације MotoPlus SDK поседује одговарајући развојни интерфејс. Изглед MotoPlus SDK корисничког интерфејса приказана је на слици 22. Овај развојни интерфејс садржи широк спектар *off-line* развојних алата, али не и алате за комуникацију са FS100 VxWORKS RTOS сервером.



Слика 22: *МотоПлус кориснички интерфејс са едитором за развој апликације у C програмском језику.*

Комуникација са FS100 VxWORKS RTOS сервером остварује се преко специјалних корисничких апликација са стране клијента, које се развијају независно од MotoPlus SDK система, али које су у функционалном смислу компатибилне са конкретном апликацијом која је развијена у MotoPlus SDK развојном систему, инсталирана на FS100 VxWORKS RTOS серверу, и у извршном коду инкорпорирана у задатак који се извршава на FS100 CPU. На слици 23 је приказана архитектура развојног и управљачког система FS100 VxWORKS RTOS и MotoPlus SDK.



Слика 23: *Архитектура MotoPlus SDK развојног система: Функционалне спреге модула управљачког система отворене архитектуре базиране на MotoPlus апликацији и VxWORKS оперативног система на FS100 управљачкој јединици робота Yaskawa SIA 10F.*

Поред претходно наведених релација, на слици 23 уочавају се две основне софтверске целине унутар управљачког система робота, које се извршавају у реалном времену:

- **FS100 JOB Task** - радни задатак робота генерисан директним програмирањем, обучавањем помоћу уређаја за програмирање, или генерисан аутоматски, коришћењем конвенционалног интерфејса за програмирање апликације, чије извршавање може бити условљено или кориговано преко алгоритама који су развијени и имплементирани као MotoPlus Application Task, и

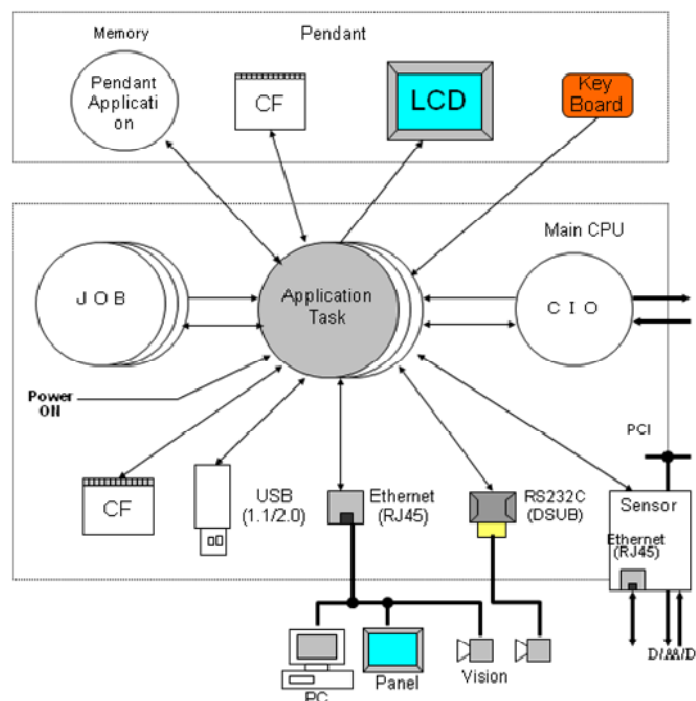
- **MotoPlus Application Task** – допунски радни задатак, развијен кроз MotoPlus развојни систем, који у реалном времену остварује интеракцију са радним задатком дефинисаним кроз JOB Task, а такође и са окружењем робота кроз Ethernet или друге интерфејсе којима је у хардверском смислу опремљен FS100 управљачки систем робота, а који су под контролом VxWORKS оперативног система.

У овако дефинисаном контексту могуће је разумети начин на који је остварена отвореност FS100 управљачког система. MotoPlus Application Task је посебан слој, хијерархијски изнад JOB Task базног извршног слоја којим се директно управља кретање робота, односно слагање кретања по појединим серво осама и читање њихових енкодера. Специјализоване рутине MotoPlus библиотеке омогућавају да се утиче на извршење JOB Task у реалном времену, што ствара практично неограничен простор за развој различитих адаптивних алгоритама за интеракцију робота са припадајућим окружењем у реалном времену.

Према намени, функције MotoPlus SDK библиотеке су разврстане у седам група:

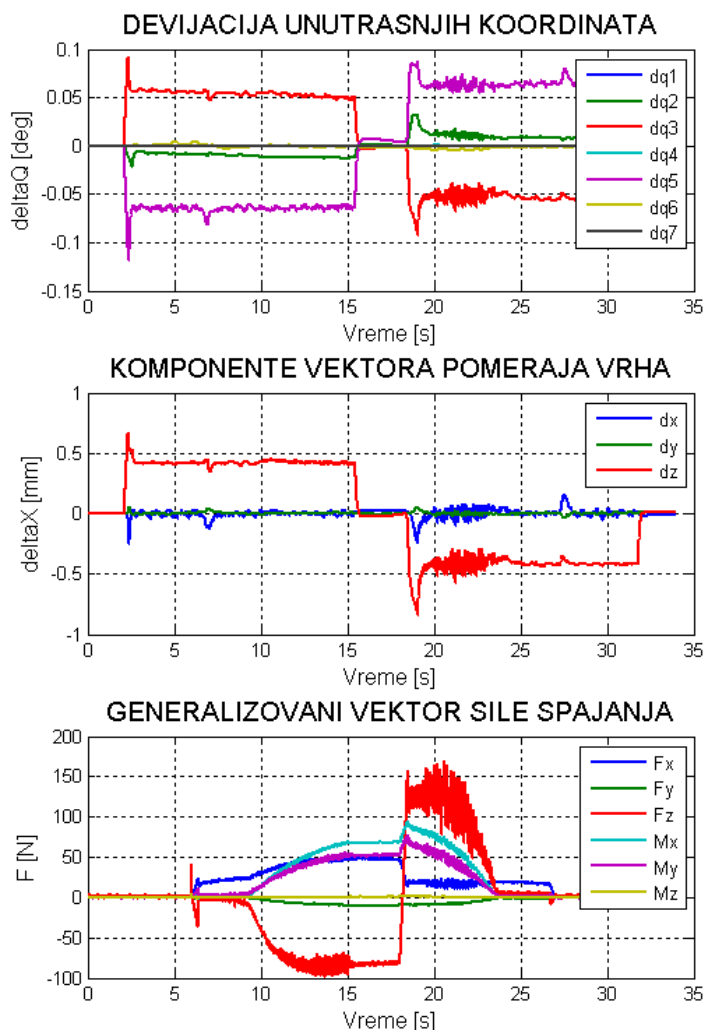
1. Функције контроле тока извршења MotoPlus апликације;
2. Функције комуникационог типа;
3. Функције управљања роботом;
4. Функције повезивања и синхронизације JOB Task и MotoPlus Application Task;
5. Функције намењене за надзор и управљање екстерним серво модулима;
6. Функције манипулације датотекама и меморијским простором;
7. Функције кинематских трансформација.

Узимајући у обзир претходно наведене функционалности MotoPlus SDK библиотеке, MotoPlus SDK развојни систем, FS100 управљачки систем и роботска рука SIA 10F се могу посматрати као отворена експериментална платформа за истраживање у области производних технологија, посебно технологије роботске монтаже, са скупом комплексних и технолошки високовредних развојних алата који омогућавају практично неограничену слободу експериментисања. Интеграција MotoPlus SDK система у хардверску и функционалну структуру ове развојне платформе наведена је на слици 24.



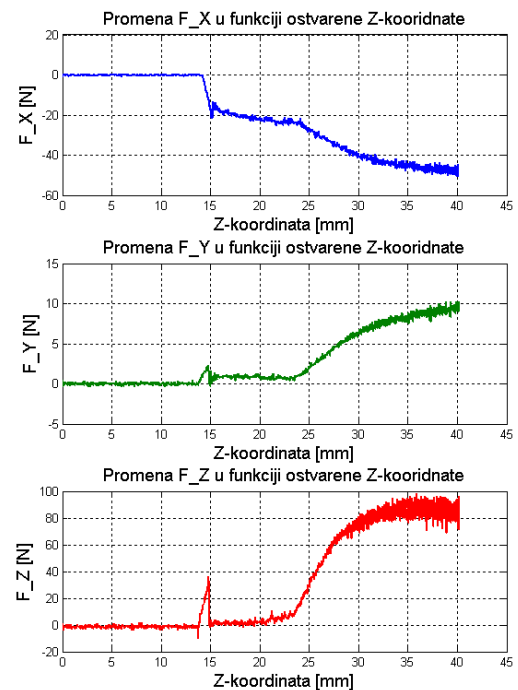
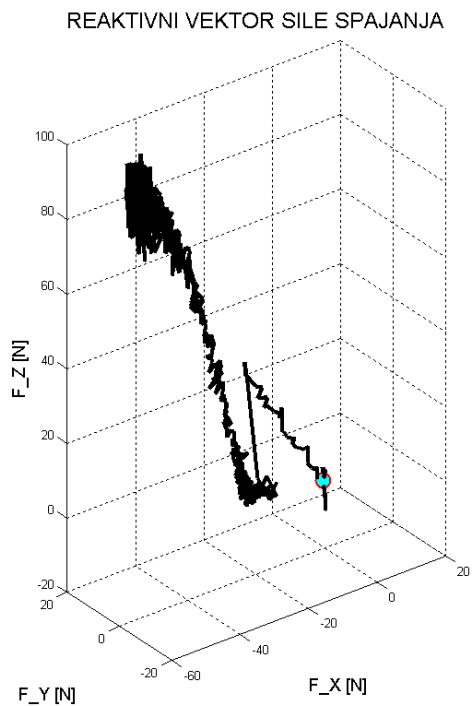
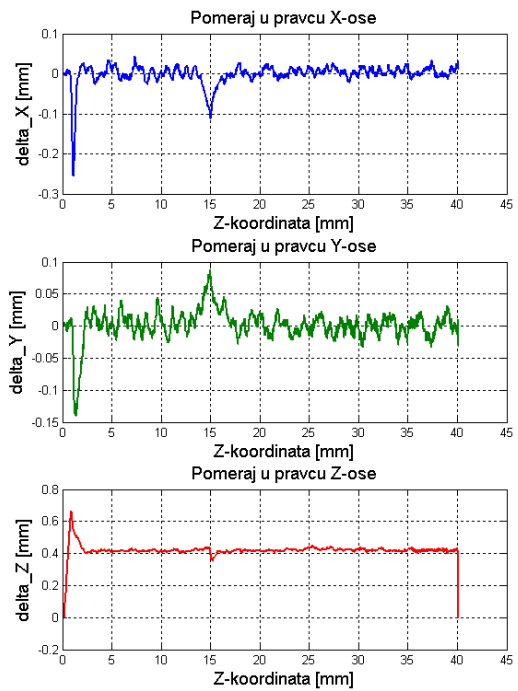
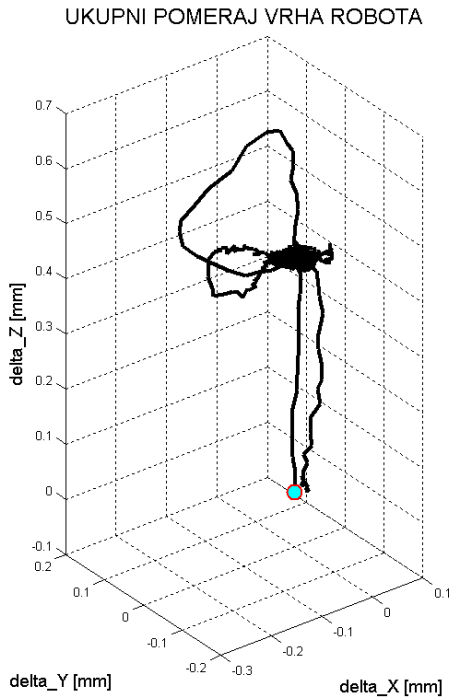
Слика 24: Генерална структура роботске истраживачко-развојне платформе отворене управљачке архитектуре развијене у оквиру пројекта TR350077 и имплементиране у Лабораторији за кибернетику и мехатронске сиеме, CMSysLab, Машинског факултета, Универзитета у Београду.

Даље се наводе графички прикази који карактеришу секвенцу извођења задатка спајања, кодирану у складу са горе наведеним JOB task-ом и допунским рутинама развијеним у MotoPlus SDK развојном систему. На слици 25 се наводе три записа: 1) разлика између номиналних и остварених угаоних координата у свих 7 зглобова, 2) разлика између номиналних и остварених линијских координата TCP, које су применом директне кинематске трансформације израчунате на основу угаоних помераја зглобова и 3) компоненте генерализованог вектора силе који је регистрован екстерним шестокомпоентним сензором силе. Наведени графици јасно показују функционалност развијене MotoPlus апликације, која генерише прецизну информацију о кинематици робота у реалном времену – унутрашње и спољашње координате као функције времена током комплетне секвенце извршавања постављеног задатка. Ову информацију није могуће генерисати кроз конвенционални оквир интеракције корисника и управљачког система робота. Даље, разлика у командованим и оствареним унутрашњим и спољашњим координатама јасно показују карактер механичке интеракцију робота са његовим окружењем: дејство инерцијалних сила у прелазним режимима, дејство гравитационе компоненте, а такође, и дејство контактних сила током процеса спајања које се преко попустљиве RCC јединице преносе на комплетну механичку и управљачку структуру робота.



Слика 7: *Временски запис: а)девијације унутрашњих координата робота, б)девијације спољашњих координата врха робота, и 3)генерализованог вектора силе спајања. Са десне стране је приказана поза робота која је коришћена у извођењу овог експеримента (робот је редундантан, па његов конфигурациони простор у овом случају омогућава неограничени избор иницијалних поза/конфигурација у оквиру којих ће бити изведен постављен задатак).*

На слици 26 приказан је укупни померај врха робота до окончања секвенце инсертовања. Паралелно, приказане су и његове компоненте у функцији времена. Аналогно овом запису приказан је и график резултантног вектора силе спајања (реактивни вектор који делује на осовину!) као функција времена (временска оса није приказана) и његове 3 компоненте као функције остварене z-координате врха робота.



Slika 26: *Приказ укупног помераја врха робота и реактивног вектора силе спајања током секвенце инсертовања осовине у отвор (иницијално стање на просторном графику је означено кружницом). У оба случаја приказани су и компонентни вектори, али као функција времена, и као функција z-координате, респективно (z-координата је добијена читањем одговарајућег регистра FS100 роботског контролера!).*

Наведени записи, мада врло садржајни и интригантни са аспекта дубљег разумевања феномена који прате сложену интеракцију робота са окружењем током процеса спајања, даље се са намером не разматрају. Овај пример и наведени резултати имају искључиво сврху демонстрације могућности и перформанси развијене експерименталне платформе.

Резултати:

Планирано: М63 Број резултата: 2
Остварено: М33 Број резултата: 2
М85 Број резултата: 1

Фаза реализације 5: Изградња и одржавање WEB поратала пројекта TP35007

Активност 5: Доградња WEB поратала пројекта TP35007;
Временски оквир: 01/01/2014 - 31/12/2014

Ова активност припада радном пакету TP35007-ПП_5: Дисеминација и трансфер знања у индустријско окружење и образовање инжењера.

У оквиру треће истраживачке активности дограђиван је WEB портал пројекта за функцију комуникације истраживачких тимова, дисеминације резултата и едукације. WEB портал је смештен у оквир WEB портала Лабораторије за кибернетику и мехатронске системе. Адреса WEB портала пројекта:

<http://cmsyslab.mas.bg.ac.rs>

Резултати:

Планирано: М86 Број резултата: 1
Остварено: М86 Број резултата: 1

Фаза реализације 5: Изградња и одржавање WEB поратала пројекта TP35007

Активност 6: Интеракција и дисеминација резултата у оквиру Програма Националних технолошких платформи Републике Србије;
Временски оквир: 01/01/2014 - 31/12/2014

Ова активност припада радном пакету TP35007-ПП_5: Дисеминација и трансфер знања у индустријско окружење и образовање инжењера.

За широку дисеминацију резултата пројекта TP35007 искоришћен је програмски оквир Националних технолошких платформи Србије, као националног еквивалента програма Европских технолошких платформи и у оквиру тога успостављање блиске сарадње са програмски комплементарним индивидуалним технолошким платформама. У том контексту је током 2014. године организован низ јавних наступа на скуповима и местима високе релевантности за домен развоја индустријских технологија и развој индустријског система Србије. Овде се по свом значају издвајају четири догађаја који се хронолошки наводе.

Први догађај, који је по свом захвату био најкомплекснији и по ефектима најзначајнији, односи се на шири корпус активности који су фокусиране на регионалну сарадњу, посебно сарадњу Србије са Италијом. Италија је најзначајнији спољнотрговински партнер Србије, не само у европским оквирима, већ и у глобалним. Такође, Италија је један од највећих инвеститора у српски привредни систем, пре свега у домену индустријске производње (посебно се истиче ФИАТ Србија као највећи извозник из сектора металопрерађивачке индустрије). Проблем у тој сарадњи је у томе што је она у потпуности дистанцирана од сарадње у домену науке, а посебно у области технолошког развоја и интеракције науке и индустрије/привреде кроз технолошки оквир. Србија и Италија имају потписан међудржавни уговор о научно-техничкој сарадњи који су ратификовала оба Парламента. Користећи тај оквир организован је скуп (иницијатор и председник организационог одбора, професор Петар Б. Петровић, руководилац пројекта TP35007) под називом: ISC 2014: CONFERENCE ON ITALIAN-SERBIAN COLLABORATION PLATFORM IN ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGIES - Towards the FACTORY of the FUTURE, Belgrade, Tuesday 29 April 2014, Conference venue: Chamber of Commerce and Industry of Serbia, PKS. У организацији и реализацији овог скупа равноправно су учествовале институције и појединци са италијанске и српске стране: Academy of Engineering Sciences of Serbia, AINS, Institute of Industrial Technologies and Automation, ITIA-CNR, Politecnico di Milano – POLIMI, Dipartimento di Meccanica, Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Dpt. for Production Eng., CMSysLab, Belgrade University, School of Electrical Engineering, Department for Signals and Systems, Scuola Superiore Sant'Anna, PISA, Chamber of Commerce and Industry of Serbia, PKS, CONFINDUSTRIA, Italy, Italian Association of Automation and Mechatronics – AIdAM, UCIMU-Sistemi per produrre, CONFINDUSTRIA Serbia, Serbia, Association of Italian and Serbian Scientists and Scholars -AIS3.



Слика 27: ISC 2014: Conference on Italian-Serbian collaboration platform in advanced manufacturing technologies - Towards the FACTORY of the FUTURE, скуп одржан 29. априла 2014. године у Привредној комори Србије, посвећен јачању билатералн сарадње Италије и Србије у области нових производних технологија, мехатронике и роботике, све у контексту даљег јачања економских односа, посебно индустријске производње. Средњи ред лево: професор Бранко Ковачевић, Декан Електротехничког факултета УБ, Председник Академије инжењерских наука Србије (АИНС), Giuseppe Manzo, амбасадор Италије у Србији, професор Иванка Поповић, Проректор за науку УБ и председник Association of Italian and Serbian Scientists and Scholars -AIS3, др Paolo Battinelli, Аташе за науку италијанске амбасаде у Србији, професор Петар Б. Петровић, Машински факултет Универзитета у Београду, Председник АИНС Одбора за технолошке платформе (Председник Организационог одбора ISC 2014), Миливоје Милетић, подпредседника ПКК (сада Председник Привредне коморе Београда). Скуп је имао велику медијску покривеност чиме је најширој јавности послата порука о значају научно техничке сарадње Италије и Србије у контексту даљег јачања билатералних економских односа.

Скуп је одржан кроз три пленарне сесије: 1) Serbian-Italian Economic Cooperation in Manufacturing, 2) Fostering Science and Industry Cooperation in High Added Value Manufacturing, и 3) Partnership for Innovation in Manufacturing and Perspectives of the Future, на којима су одржана предавања по позиву. Скуп су отворили Жељко Сертић, тада Председник привредне коморе Србије, ПКС, а данас Министар привреде у Влади републике Србије, Професор Бранко Ковачевић, Декан Електротехничког факултета Универзитета у Београду и Председник Академије инжењерских наука Србије и Giuseppe Manzo, амбасадор Италије у Србији. Такође, скупу се обратила и професор Иванка Поповић, Проректор за науку на Универзитету у Београду, и председник Association of Italian and Serbian Scientists and Scholars -AIS3. Руководилац пројекта TP35007, професор Петар Б. Петровић је одржао предавање по позиву са темом: NATIONAL TECHNOLOGY PLATFORMS OF SERBIA – Factories of the future initiative и председавао свим сесијама. Посебност овог скупа је био и део који се односио на интеракцију домаћих и италијанских компанија у домену нових производних технологија, роботике и мехатронике. Ова активност је одржана у форми B2B (*Business to Business*) и R2B (*Research to Business*) на којем је учествовало преко 20 компанија из Италије, које су само због овог скупа дошле у Србију. На скупу је учествовало преко 120 учесника из Србије и Италије, подједнако из сфере науке и индустрије.

Други догађај се односи на 58. Конференција ЕТРАН, Округли сто: Истраживачко-развојни пројекти у Србији и примена њихових резултата, Врњачка Бања, 02-05. јун 2014. године. На овом скупу, у чијем раду је активно учествовао и Матични одбор за електронику, телекомуникације и информационе технологије, ресорног министарства за науку и технолошки развој, руководилац пројекта TP35007, професор Петар Б. Петровић је одржао предавање по позиву са темом: ПРИМЕНА ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА И ПРОГРАМ НАЦИОНАЛНИХ ТЕХНОЛОШКИХ ПЛАТФОРМИ – Наука и инжењерство у функцији јачања конкурентности индустрије Србије.

Трећи догађај који је значајан за дисеминацију резултата остварених кроз пројекат TP35007 је скуп билатералне природе под називом: Engineering Meeting: ITALY meets SERBIA, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Belgrade, 11 June 2014. Руководилац пројекта TP35007, професор Петар Б. Петровић је одржао предавање по позиву са темом: FACTORIES of the FUTURE Engineering and Research Challenges for Industrial Renaissance, Prof. dr Petar. B. PETROVIĆ, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbian Academy of Engineering Sciences AINS, and Prof. dr Branko KOVAČEVIĆ, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Serbian Academy of Engineering Sciences AINS.

Четврти догађај се односи на једнодневни семинар за иновацију знања под називом: Инжењерство, индустријске технологије и друштво, које је одржан у Инжењерској комори Србије, Регионални центар Нови Сад, Нови Сад, 17.11.2014. Овај специјализован семинар је имао за циљ да слушаоцима пренесе нове погледе на инжењерство, технологије и технолошки развој, односно њихову нову улогу у развоју друштва, посебно у делу решавања најзначајних изазова са којима се модерна друштва суочавају на почетку 21. века. Семинар је био намењен пре свега инжењерској струци, подједнако из домена привреде и науке. Овај семинар је у једном свом значајном делу имао и садржаје који су релевантни регионалним привредним коморама, креаторима индустријске и образовне политике, а такође и економској струци, која без дубљег разумевања широког корпуса феномена и процеса повезаних са инжењерством, техничким наукама и технологијама, не може да на одговарајући начин креира ефективне економске политике. Предавач на овом семинару је био руководилац пројекта TP35007, професор Петар Б. Петровић, који је своје предавање организовао кроз три теме: ТЕМА 1: Инжењерство за 21. век – Програми и изазови за образовање инжењера и стварање нове технолошке елите и технолошких лидера, ТЕМА 2: Кључни истраживачки програми за фабрике будућности – The Next Generation Manufacturing, и ТЕМА 3: Програм националних технолошких платформи Србије – Свеобухватни програм за четврти талас индустријализације Србије изведен из Европских технолошких платформи (детаљи на: <http://www.ingkomora.rs/programi/kursevi/?gr=80&sifra=6389&prijava=1&post=0>)

Резултати:

Планирано:	M63 Број резултата: 1
Остварено:	M51 Број резултата: 1
	M14 Број резултата: 1

2. Преглед резултата који нису реализовани са образложењем и прогнозом рока њихове реализације.

Све планиране истраживачко-развојне активности су реализоване у целости и сви планирани резултати су остварени по садржини и обиму (обим публикованих радова је већи од планираног!).

Изузетак је само активност везана за реализацију CNC обрадног система за плазма резање за потребе корисника истраживања, компаније Икарбус а.д., која је физички делимично реализована због финансијских проблема компаније Икарбус. Машински факултет је у целости извршио своје обавезе пројектовања. Реализација овог обрадног система померена је за 2015. годину.

3. Преглед резултата који директно омогућају наставак реализације пројекта.

Кључни резултати који директно омогућавају наставак реализације пројекта у наредној истраживачкој години се односе на:

- Група резултата који се односе на демонстрационе инсталације за роботско заваривање и роботску монтажу и са тим у вези окончање процеса набавке капиталне опреме за пројекат TP35007 који је у току. Део капиталне опреме испоручен јуна месеца 2013. године. Преостала капитална опрема и опрема у оквиру ДМТ2 је у процесу набавке (тендер за набавку капиталне опреме расписан (Тендер Ц), расписивање тендера за ДМТ2 опрему планирано за фебруар 2015.).
- Група теоретских резултата који се односе на нове методе/процедуре/технике обраде сензорских сигнала као и хардверско-софтверских алата за имплементацију сензора силе и оптичких сензора у системе који раде у реалном времену.

Развијени алати за генерисање виртуелних и интерактивних модела робота и његовог технолошког окружења, који стварају потребне предуслове за практичну примену роботских система у реалним условима индустријске производње, посебно роботског заваривања, што ће бити предмет истраживачко-развојних активности у другој и наредним истраживачким годинама.

- Практична имплементација система плазма резања за унапређење технолошких основа производног система компаније Икарбус, у току. Планирано окончање до средине 2015. године.
- Интеракције Универзитет – Индустрија кроз развијен модел дисеминације знања у оквиру билатералних пројеката и кроз програм Националних технолошких платформи, спрегнут са релевантним индивидуалним Европским технолошким платформама.

4. Оцена успешности реализације пројекта и утицај резултата на даље активности и завршетак целог пројекта.

Пројекат се реализује по плану, а у извесним активностима реализовани обим истраживања је већи од планираног. Оваква ситуација се очекује и у наредној истраживачкој години која је значајна са аспекта финализације изградње експерименталних роботских инсталација и имплементације дела истраживања у оквиру домаће индустрије. Посебно се издвајају активности са компанијом Сименс која у Суботици има своју фабрику за производњу ветрогенератора велике снаге. Уговор о поверљивости потписан током 2014. године, у фази уговарања реализација две студије изводљивости за роботизацију процеса заваривања сегмента статора ветрогенератора и његову димензиону контролу. Критичан услов за реализацију планираних активности у наредној години биће стање домаће привреде у условима економске рецесије, која објективно отежава њихове пословне активности и успорава процесе модернизације производних ресурса.

5. Оцена корисника о успешности реализације пројекта и утицај резултата на даље активности и завршетак целог пројекта. Уколико имате корисника (партиципанта) приложите уз овај извештај оцену корисника (мишљење) о успешности реализације пројекта и утицај резултата на даље активности и завршетак целог пројекта (посебан прилог на меморандуму корисника).

Истраживачке активности овог пројекта подржане су од стране једне компаније из индустрије: **Икарбус а.д. – Фабрика аутобуса и специјалних возила – у реструктурирању.** Компанија Икарбус има дугу традицију и у индустрији Србије егзистира скоро један век (основана 20.11.1923. године као прва фабрика аеро и хидроплана на Балкану). Процес својинске трансформације се врло лоше одразио на пословне активности компаније. Компанија је 08.2008. године продата компанији Автодетал-Сервис из Руске федерације за 7.2 милиона ЕУР. Због неиспуњавања низа уговорних обавеза, а посебно због одсуства инвестиција, неисплаћивања зарада радницима и располагања имовином противно уговору, Агенција за приватизацију је после другог додатног рока, раскинула приватизациони уговор 04.2009.

године. Производња је у потпуности заустављена, дошло је до штрајкова и других облика социјалних тензија, па су на крају сви радници послати на колективни одмор, а скоро 400 радника је до краја 2009. године трајно напустило Икарбус уз отпремнину.

Фабрика је децембра 2009. године ушла у поступак реструктурирања, а ново руководство компаније је активностима које су уследиле постепено успоставило производну функцију. Паралелно, Агенција за приватизацију је покренула нови приватизациони циклус. Као стратешки партнер појавила се холандска компанија VDL, водећи произвођач аутобуса у Европи. После готово једногодишњих преговора и низа варијантних сценарија, октобра месеца 2011. године овај процес је окончан неуспешно, повлачењем ВДЛ-а. Тиме је окончан и успорени период производних активности (ови процеси по правилу имају такав ефекат на предузећа која су у стању промене својинског статуса), а ново руководство је покренуло амбициозне пословне активности и то у два смера: иновирање производног програма преласком на нископодне аутобусе и јачање производних потенцијала компаније кроз увођење нових технологија.

Пословна 2011. година је после дугог низа година завршена позитивно у финансијском смислу. Почетком 2012. године испоручена су 25 аутобуса ГСП Београд, а јуна месеца 2012. године склопљен је уговор, такође са ГСП, за још 32 аутобуса. Због потпуног изостанка реализације финансијских обавеза од стране ГСП-а и одсуства подршке града у делу кредитирања производње, реализација овог пројекта је прво успорена, а затим и потпуно заустављена, што је Икарбус довело у врло неповољну финансијску ситуацију, јер је сва расположива средства из сопствене акумулације уложио у производне активности по овом уговору (вредност посла 6.3 MioEUR). Паралелно град Београд је расписао тендер за набавку нових 400 градских аутобуса у кредитном аранжману са European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Услови које је EBRD дефинисао за расписивање тендера су административним ограничењима онемогућиле Икарбус да конкурише чак и у својству добављача, што је додатно угрозило његово пословање, јер је у пословном смислу Икарбус традиционално везан за снабдевање ГСП аутобусима. Током 2013. године постепено су испоручивани аутобуси ГСП од стране пољске компаније СОЛАРИС, укупно 208 јединица. За Икарбус није било никаквог посла, сем послова одржавања. Оваква ситуација довела је Икарбус у врло тешко стање, тако да је комплетна 2013. година протекла у покушајима да се алтернативним пројектима компензује енормни губитак. Током 2014 године Икарбус је формализовао свој партнерски однос немачким Мерцедесом, и одлуком Владе Републике Србије изашао из статуса предузећа у реструктурирању, што је отворило простор за улазак у фазу економског опоравка.

Пројекат TP35007 је препознат као значајан оквир за технолошки развој и у том контексту су дефинисана три основна развојна садржаја: 1)роботизација процеса заваривања, 2)увођење технологије плазма резања за израду делова из челичних плочастих материјала и 3)увођење иновативне технологије ласерског резања кутијастих и кружних профила, као основног градивног елемента за носеће структуре нископодних аутобуса.

Од претходно наведеног ефективно је рађено само на технологији CNC плазма резања. Крајем 2011. године инициран је развој CNC система за плазма резање по пројектном решењу Машинског факултета и у складу са специфичним потребама компаније Икарбус. Током 2012. године финализиране су активности пројектовања и започете активности на реализацији CNC система за плазма резање али је после почетног замаха, због претходно наведених разлога, Икарбус био спречен да настави инвестирање у набавку компонената, па је реализација пројектног решења Машинског факултета прво умерена за другу половину 2013. године, затим за наредну, 2014. годину, и коначно за 2015. годину. За набавку компонената Икарбус је инвестирао у 2012. години 658.500,00 динара. Без обзира на изузетне финансијске тешкоће, Икарбус је финансијски подржао пројекат TP35007 у обиму планираном за прву, другу, трећу и четврту годину. Партиципација у четвртој години је износила 612.103 динара.

Комплетна ситуација је врло индикативна и показује на конкретан начин са којим се ограничењима суочавају пројекти технолошког развоја када у свом конзорцијуму имају кориснике из индустрије. Просто, и поред потпуне спремности обе стране и чињенице да је Машински факултет у потпуности завршио своје обавезе у делу пројектовања, а те обавезе су биле врло комплексне јер су обухватиле комплетан обрадни систем – механику са конструкционом документацијом, управљачки и актуациони хардвер са конструкционом документацијом и управљачки софтвер, коначан резултат је изостао због споља наметнутих ограничења.

У претходном контексту, афирмативно мишљење корисника истраживања је прибављено у писаној форми (како је захтевано од стране Министарства) и приложено у папирној верзији извештаја. За 2015. годину Икарбус показује спремност за значајна финансијска улагања у израду индустријског прототипа аутоматског система за плазма резање и роботизацију процеса заваривања, све у склопу активности јачања својих технолошких основа и подизања конкуритивности на домаћем и страном тржишту, посебно кроз најновији аранжман пословне сарадње са Мерцедесом.

Проблеми реализације пројекта

1. Навести проблеме које су постојали при реализацији пројекта

Проблеми који су били присутни током прве истраживачке године могу се сврстати у 3 групе:

1. **Проблем кашњења набавке опреме:** Кашњење у набавци планиране капиталне опреме и ситне опреме која је планирана кроз ДМТ2 оквир, има успоравајући ефекат на реализацију планираних истраживачких активности.
2. **Проблем својинске трансформације:** Компанија Икарбус а.д. је партиципант на пројекту и корисник резултата истраживања. Приватизациони процеси и процеси реструктурирања, који се паралелно обављају у овој компанији имају реметилачки утицај на планирану сарадњу због смањене способности компаније Икарбус за инвестирање у реализацију пројектованих демонстрационих система.
3. **Проблем економске кризе и опште стање индустрије Србије:** Економска криза која је захватила домаћу привреду одржава се несмањеним интензитетом. Током 2014. године бележи се значајан пад индустрије производње, у секторима прерађивачке индустрије око 5% на годишњем нивоу, консеквентно, присутан је значајан пад домаћих спремности компанија да инвестирају у модернизацију технологије. Оваква ситуација представља објективан ризик за апликативне аспекте пројекта ТР 35007.

2. Навести потребне активности неопходне за успешну реализацију пројекта.

Финализација набавке опреме, подједнако капиталне опреме као и развојно врло значајне ситне опреме из ДМТ2 средстава, је кључна за спровођење планираних истраживачких и развојних активности