



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Глигорије И. Мирков

**МОДЕЛ УПРАВЉАЊА ДИДАКТИЧКИМ
ФЛЕКСИБИЛНИМ ЂЕЛИЈАМА ПРИМЕНОМ
ТЕХНОЛОГИЈЕ РАДИОФРЕКВЕНТНЕ
ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ**

докторска дисертација

Крагујевац, 2021



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC

Gligorije I. Mirkov

**THE MANAGEMENT MODEL OF DIDACTIC FLEXIBLE
CELLS USING TECHNOLOGIES OF
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION**

Doctoral dissertation

Kragujevac, 2021

| |
|--|
| Име и презиме: Глигорије Мирков |
| Датум и место рођења: 25.01.1956, Београд |
| Садашње запослење: Политехника-школа за нове технологије, Београд |
| II. Докторска дисертација |
| Наслов: Модел управљања дидактичким флексибилним ћелијама применом технологије радио фреквентне идентификације |
| Број страница: 16 + 132 |
| Број библиографских података: 88 |
| Број слика: 36 |
| Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу |
| Научна област (УДК): 62-93-027.43+[621.396.029-047.27:004.42] |
| Ментор: др Миладин Стефановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу |
| III. Оцена и одбрана |
| Датум пријаве: 02.03.2020 године. |
| Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: IV-04-93/10, од 10.02.2021 године. |
| Комисија за оцену подобности теме и кандидата: <ol style="list-style-type: none"> 1. др Богдан Недић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2. др Миладин Стефановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 3. др Елеонора Десница, ванредни професор, Технички факултет „Михајло Пупин”, Универзитет у Новом Саду |
| Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације: <ol style="list-style-type: none"> 1. др Богдан Недић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2. др Александар Ђорђевић, доцент, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу 3. др Елеонора Десница, ванредни професор, Технички факултет „Михајло Пупин”, Универзитет у Новом Саду |
| Датум одбране докторске дисертације: |

Mojoj porodici

ПРЕДГОВОР

Анализа и проучавање флексибилне производње заснива се на анализи и проучавању флексибилних производних система. Имајући то у виду, ови системи су основни чиниоци савремене производне оријентације, усмерени на аутоматизацију производних процеса. Производни систем састоји се, у принципу, од технолошких, техничких и информационих подсистема, у који је укључен и људски фактор. У том смислу, флексибилни производни систем има структуру састављену из: техничко-технолошких компонента: Hardware и управљачко-програмских компонента Software.

Већина постојећих система управљања транспортом у домену флексибилне производње има недостатк флексибилности и агилности. Ово је нарочито заступљено код производње већег броја разноликих, компликованијих производа мањег габарита, који захтевају брзу промену производног програма, са краћим временима обрадног процеса и сложенијим транспортним захтевима унутар система тј. сложенијим манипулационим захтевима. С друге стране већ у фази самог транспорта могуће је искористити информације о производу у циљу побољшања управљања процесом, па је од суштинског значаја информација о идентификацији сваког дела који се креће у оквиру флексибилних ћелија (шире система), што је и делимично заступљено код већине постојећих система.

Главна мотивација за рад на овој дисертацији јесте побољшање модела управљања дидактичких флексибилних ћелија засноване на употреби RFID технологије.

Овом приликом се захваљујем, редовном професору у пензији др Славку Арсовском који ми је својим саветима, стручношћу, знањем, искуством, сугестије и подршци значајно допринео квалитету садржаја дисертације.

Видан допринос, кроз сугестије, савете, подршку и указивање на битне елементе корисне за израду дисертације, дао је проф. др Богдан Недић, те му се неизмерно захваљујем. Захваљујем се професору др Милану Ерићу, на саветима и подршци током израде ове дисертације.

Захваљујем се свом ментору редовном професору др Миладину Стефановићу на стручној помоћи, конструктивним сугестијама, уложеном труду и утрошеном времену. Посебно сам му захвалан и на томе што је своје искуство и знање несебично поделио са мном и што је правим саветима као и аргументима усмеравао моја размишљања и закључивања, што ми је вишеструко помогло у изради докторске дисертације.

Неизмерну захвалност дугујем проф. др Мирку Ђапићу, на идеји коришћења евиденционих система у дисертацији.

На крају, највећу захвалност дугујем својој породици супрузи Маријани и сину Дамјану на бескрајној подршци и разумевању током израде докторске дисертације.

Београд, јун 2021. год.

Глигорије Мирков

РЕЗИМЕ

МОДЕЛ УПРАВЉАЊА ДИДАКТИЧКИМ ФЛЕКСИБИЛНИМ ЋЕЛИЈАМА ПРИМЕНОМ ТЕХНОЛОГИЈЕ РАДИОФРЕКВЕНТНЕ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ

Флексибилни производни системи (*FMS*) као сложена и стохастичка окружења изискују даљи развој иновативних, интелигентних управљачких архитектура у циљу побољшања флексибилности, агилности и реконфигурабилности. Дистрибутивни управљачки систем, као подсистем управљања *FMS*, бави се овим изазовом, увођењем оптималног управљања процесом који је подржан од стране аутономних управљачких јединица које сарађују међусобно. Класични системи управљања транспортом имају недостатак флексибилности и агилности, нарочито у случајевима када је разноврсност производа и заступљеност делова мањег габарита велика. У таквим случајевима систем је неосетљив за случајне „ад-хок” догађаје. Поред праћења, идентификације и категоризације делова путем технологије радио фреквентне идентификације (*RFID*), коришћењем исте, уведена су у модел управљања техничко-технолошки параметри. Флексибилни систем тада остварује могућност рада у реалном времену процеса, и ослобађа рачунарске ресурсе за друге задатке. Такође флексибилни систем добија карактер адаптивног интелигентног система.

Научни циљ докторске дисертације је побољшани модел управљања дидактичког флексибилног производног система заснованог на *RFID* технологији и рачунарској интелигенцији, и представља допринос развоја Индустрије 4.0. Употреба савремених технологија, на првом месту информационо комуникационих технологија има велики утицај на све аспекте управљања производним системима.

Испитивани модел, из ког произлази софтверско решење, пружа могућност да осмишљена архитектура флексибилне производне ћелије покаже да је предочени оквир способнији од већине имплементираних у садашњој образовној и производној пракси, нарочито ако је процес динамичан, непознат управљању и има захтеве реконфигурабилности.

Циљна група обухвата дидактичне флексибилне ћелије (*FMC*) чију конфигурацију чине: *CNC* машине, додавачи материјала и робот који их опслужује. Истраживање је обављено на ћелијама и опреми највише заступљеној у образовном систему Републике Србије. Како се модел управљања односи на дидактичке *FMC*, решавању управљачке проблематике прикључене су и поставке које сагледавају елементе дидактичког приступа, што укључује степен перцепције, учење и проширење знања, закључивање и реакцију слушалаца. Тестирање, верификација и валидација развијеног модела управљања *FMC* реализована је коришћењем евиденционих мрежа, применом софтвера *McEvidence* и анализом модела управљања за два типа дидактичких флексибилних ћелија.

Тестирањем испитиваног модела потврђују се постављене хипотезе и даје се простор за даља истраживања и унапређења што је и предочено у закључним разматрањима докторске дисертације.

Кључне речи: Робот, *RFID*, *Tag*, *FMC*, *FMS*, Агент, *Macro*, *CNC* машине.

ABSTRACT

THE MANAGEMENT MODEL OF DIDACTIC FLEXIBLE CELLS USING TECHNOLOGIES OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

Flexible manufacturing systems as complex and stochastic environments require the development of innovative, intelligent control architectures in order to improve flexibility, agility and reconfiguration. The distribution management system, as a subsystem of FMS management, addresses this challenge, introducing the optimal process management that is supported by autonomous management units cooperating with each other. Classic transport management systems lack flexibility and agility, especially in cases where the variety of products and the representation of smaller parts is large. In such cases, the system is insensitive to random "ad-hoc" events. In addition to the monitoring, identification and categorization of parts via radio frequency identification (RFID) technology, using the same, the technical-technological parameters were introduced into the management model. The flexible system then enables the possibility of working in real time of the process, and frees up computer resources for other tasks. Also, the flexible system acquires the character of an adaptive intelligent system.

The scientific goal of the PhD dissertation is to improved the management model of a didactic flexible production system based on RFID technology and computer intelligence, and represents a contribution to the development of Industry 4.0. The use of modern technologies, primarily information and communication technologies, has a great impact on all aspects of production systems management.

The tested model, the software solution is derived from, provides an opportunity for the designed architecture of a flexible production cell to show that the presented framework is more efficient than the most implemented ones in the current educational and production practice, especially if the process is dynamic, unknown to management and has reconfigurability requirements.

The target group includes didactic flexible cells (FMC) whose configuration consists of: CNC machines, material feeders and the robot that serves them. The research was performed on cells and equipment most represented in the educational system of the Republic of Serbia. As the management model refers to didactic FMC, the solution of management problems is accompanied by settings that consider the elements of the didactic approach, which includes the degree of perception, learning and expansion of knowledge, the reasoning and reaction of listeners. The testing, verification and validation of the developed FMC management model was realized using record networks, applying the McEvidence software and analysing the management model for two types of didactic flexible cells.

By testing the examined model, the set hypotheses are confirmed and space is given for further research and improvements, which is presented in the concluding remarks of the doctoral dissertation.

Keywords: Robot, RFID, Tag, FMC, FMS, Agent, Macro, CNC machines.

САДРЖАЈ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | УВОД..... | 1 |
| 1.1 | Предмет и циљ рада | 1 |
| 1.2 | Основне хипотезе од којих се полази..... | 2 |
| 1.3 | Методе истраживања | 4 |
| 1.4 | Садржај дисертације са кратким обележјем..... | 5 |
| 2 | ПРИКАЗ СТАЊА..... | 7 |
| 2.1 | Флексибилни производни системи..... | 7 |
| 2.1.1 | Класична управљачка архитектура | 9 |
| 2.1.2 | <i>Agent-base</i> управљачка архитектура..... | 10 |
| 2.1.3 | <i>HMS</i> архитектура..... | 12 |
| 2.1.4 | Релевантни индустријски стандарди..... | 13 |
| 2.1.5 | Флексибилност као мерило квалитета <i>FMS</i> -а | 14 |
| 2.1.6 | Дидактички флексибилни производни системи..... | 15 |
| 2.1.7 | Симулациони софтвери у <i>FMS</i> -у | 20 |
| 2.2 | <i>RFID</i> – Радио фреквентна идентификација | 23 |
| 2.2.1 | Комуникација између читача и транспондера..... | 24 |
| 2.2.2 | Функционисање <i>RFID</i> система | 24 |
| 2.2.3 | Антиколизија | 25 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.2.4 | Антиена тага | 25 |
| 2.2.5 | Читач..... | 26 |
| 2.2.6 | Антиене читача | 27 |
| 2.2.7 | Фреквенције <i>RFID</i> уређаја..... | 27 |
| 2.2.8 | Активни транспондери, семи-пасивни и пасивни транспондери | 28 |
| 2.2.9 | Записивање и читање тага / транспондера..... | 29 |
| 2.2.10 | <i>EAS</i> тагови..... | 29 |
| 2.2.11 | Штампана електроника или <i>Printed electronics</i> | 29 |
| 2.2.12 | Процес нагризања антена | 30 |
| 2.2.13 | Стандарди..... | 30 |
| 2.2.14 | Значај и примена <i>RFID</i> технологије у флексибилној производњи..... | 31 |
| 3 | ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ- <i>RFID FMS</i> | 32 |
| 3.1 | Примери праћења производног процеса применом <i>RFID</i> технологије | 32 |
| 3.2 | Примери модела управљања применом технологије <i>RFID</i> | 38 |
| 3.2.1 | Примери модела управљања базираних на агентима | 38 |
| 3.2.2 | Примери модела управљања транспортом – монтажним процесима | 47 |
| 3.2.3 | <i>RFID</i> технологија у садејству са различитим техникама управљања применљивих код роботских система..... | 59 |
| 4 | МОДЕЛИ УПРАВЉАЊА ИЗВЕДЕНИХ У <i>DFMS</i> | 60 |
| 4.1 | Модел управљања технолошким поступком у окружењу <i>FMS</i> | 60 |
| 4.1.1 | Параметарско програмирање | 60 |
| 4.1.2 | Преглед литературе релевантне за параметарско програмирање..... | 61 |
| 4.1.3 | Методологија параметарског програмирања..... | 67 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2 | Модел управљања транспортом у флексибилној ћелији применом <i>RFID</i> технологије | 72 |
| 4.2.1 | Анализа роботских система <i>DFMC</i> | 72 |
| 4.2.2 | Реконфигурабилни роботи или роботски системи | 74 |
| 4.2.3 | Процес дизајнирања и реконфигурације модула робота..... | 75 |
| 4.2.4 | Полазна разматрања о управљању флексибилном ћелијом применом <i>RFID</i> технологије | 77 |
| 4.2.5 | Производне архитектуре засноване на агентима и <i>RFID</i> технологији | 83 |
| 5 | МОДЕЛ УПРАВЉАЊА ДИДАКТИЧКОМ ФЛЕКСИБИЛНОМ ЋЕЛИЈОМ | 85 |
| 5.1 | Полазна разматрања о моделу управљања <i>DFMC</i> | 85 |
| 5.2 | Модел управљања технолошким поступком <i>DFMC</i> | 90 |
| 5.3 | Управљање транспортом у <i>DFMC</i> применом <i>RFID</i> технологије..... | 92 |
| 5.3.1 | Заједничке карактеристике транспортног система <i>DFMC</i> | 92 |
| 5.3.2 | Посебне карактеристике индустријског робота у <i>DFMC</i> | 93 |
| 5.3.3 | Посебне карактеристике реконфигурабилног робота у <i>DFMC</i> | 93 |
| 5.4 | Мулти агент управљачки систем <i>DFMC</i> заснован на макро програмирању и <i>RFID</i> | 94 |
| 5.4.1 | Кодирање <i>RFID</i> тага..... | 96 |
| 5.4.2 | Основа модела управљања <i>FMC</i> -а..... | 97 |
| 5.4.3 | Мулти агент управљачки систем <i>FMC</i> заснован на макро програмирању, реконфигурабилном роботском систему и <i>RFID</i> | 98 |
| 5.4.4 | Кодирање <i>RFID</i> тага у планској и непланској реконфигурацији | 100 |
| 5.4.5 | Предности и ограничења реконфигурације транспортног система | 100 |

| | |
|---|-----|
| 6 РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА | 102 |
| 6.1 Евиденциони системи у анализи и верификацији предложеног модела управљања флексибилном ћелијом | 102 |
| 6.1.1 Теорија функција уверења..... | 103 |
| 6.1.2 О евиденционим системима..... | 104 |
| 6.1.3 <i>McEvidence</i> програмски пакет..... | 105 |
| 6.1.4 Демпстерово правило..... | 105 |
| 6.1.5 Евиденциони системи у избору концепције флексибилне ћелије са становишта флексибилности..... | 106 |
| 6.1.6 Дискусија резултата избора концепције флексибилне ћелије са становишта флексибилности..... | 113 |
| 6.2 Експерименти и резултати експеримената | 114 |
| 6.2.1 Истраживања параметарског програмирања применом <i>RFID</i> технологије..... | 115 |
| 6.2.2 Анализа резултата истраживања параметарског програмирања..... | 115 |
| 6.2.3 Експеримент 1 : Верификација расподеле технолошких и роботских секвенци | 116 |
| 6.2.4 Експеримент 2 : Промена редоследа процеса <i>DFMC</i> | 118 |
| 6.3 Анализа резултата експеримената 1 и 2..... | 120 |
| 6.4 Правци развоја..... | 121 |
| 7 ЗАКЉУЧАК..... | 122 |
| 8 ЛИТЕРАТУРА..... | 126 |

СПИСАК СЛИКА

| | | |
|------------|--|----|
| Слика 2.1 | Прва архитектура FMC лабораторије..... | 17 |
| Слика 2.2 | Друга архитектура FMC лабораторије..... | 19 |
| Слика 2.3 | Структура софтвера Arena за контролу FMS (преузето из Slota, A. & Malopolski, W., 2007) | 22 |
| Слика 2.4 | Архитектура EMCO лабораторије (преузето из Slota, A. & Malopolski, W., 2007) | 23 |
| Слика 2.5 | RFID архитектура..... | 26 |
| Слика 2.6 | „Master&Slave” – однос читача и тага (преузето са https://www.microwavejournal.com/legacy_assets/images/4830_Fig_02.jpg и адаптирано 12.03.2021)..... | 27 |
| Слика 3.1 | Систем архитектура (адаптирано из M.L. Wang et al., 2012) | 34 |
| Слика 3.2 | Хардверска конфигурација (преузето из M.L. Wang et al., 2012) | 35 |
| Слика 3.3 | Преглед реализације производње (адаптирано из M.L. Wang et al., 2012) | 37 |
| Слика 3.4 | EAI оквир користећи RFID и софтверски агенти (преузето из Ruey-Shun Chen, et al. 2010) | 39 |
| Слика 3.5 | RFID таг структура података (преузето из Ruey-Shun Chen, et al., 2010) | 43 |
| Слика 3.6 | Интеракције и проток информација између компоненти | 46 |
| Слика 3.7 | Структура аутоматског управљања обрадног система..... | 48 |
| Слика 3.8 | Систем за праћење на линији монтаже (преузето из Ruey-Shun Chen, et al., 2010) | 49 |
| Слика 3.9 | Дијаграм трилатерације (преузето из Ruey-Shun Chen, et al., 2010)..... | 49 |
| Слика 3.10 | Лоцирање у границам правоугаоног дијаграма (преузето из Ruey-Shun Chen, et al. 2010) | 51 |
| Слика 3.11 | Процес идентификације делова и роботска монтажа (прилагођено према Sotiris Makris et al., 2012)..... | 52 |
| Слика 3.12 | RFID интеграциона архитектура (Sotiris Makris, at all, 2012)..... | 57 |

| | |
|--|-----|
| Слика 4.1 Логика параметарског програмирања на примеру Bezier криве (преузето и прилагођено из Hetal N.Fitter, et al., 2014) | 65 |
| Слика 4.2 Процес спајања екстерних информација са макро програмом (преузето из рада G. Mirkov, Z. Bakić & M.Đapić, 2019)..... | 68 |
| Слика 4.3 Пример макро програма за обраду бушења (преузето из рада G. Mirkov, Z. Bakić & M.Đapić, 2019) | 68 |
| Слика 4.4 Логика програмирања кривих линија са интероперабилношћу <i>RFID</i> технологије (преузето и адаптирано према Hetal N.Fitter et al., 2014) | 69 |
| Слика 4.5 Структура модула везе и заједничких модула | 75 |
| Слика 4.6 Пример реконфигурације једне гране; а-почетни положај, б-крајњи положај | 76 |
| Слика 4.7 Дијаграм везе дидактичког флексибилног система (преузето из R. V. Barenji, et al., 2014)..... | 78 |
| Слика 4.8 Архитектура система после увођења <i>HMI</i> и <i>RFID</i> (преузето из R.V.Barenji, et al., 2014)..... | 81 |
| Слика 5.1 Опис интерфејса <i>FMC</i> | 86 |
| Слика 5.2 <i>UML</i> објектни дијаграм <i>FMC</i> | 87 |
| Слика 5.3 <i>UML</i> секвенцијални дијаграм <i>FMC</i> | 88 |
| Слика 5.4 <i>UML</i> дијаграм активности <i>FMC</i> | 89 |
| Слика 5.5 Блок шема флексибилног програмирања за процес обраде на стругу..... | 91 |
| Слика 5.6 Модификована блок шема флексибилног програмирања..... | 92 |
| Слика 5.7 Ток информација унутар системског оквира модела управљања | 95 |
| Слика 5.8 Структура података <i>RFID</i> тага..... | 96 |
| Слика 5.9 Ток информација унутар системског оквира модела управљања реконфигурационог роботског система..... | 99 |
| Слика 6.1 Графичка илустрација Демпстеровог правила (Đapić M. & Milačić V.,1995) | 106 |
| Слика 6.2 Различите класе површина (адапт. према PERA, 1969) | 107 |
| Слика 6.3 Знање из табеле 6.2 представљено као евиденциона мрежа (категоризовано за делове из групе 1, 2, 3 и 4) | 110 |

| | |
|---|-----|
| Слика 6.4 База знања у избору концепције <i>FMC</i> | 111 |
| Слика 6.5 Евиденциона мрежа са улазним уверењима..... | 112 |
| Слика 6.6 Евиденциона мрежа са излазним уверењем..... | 112 |
| Слика 6.7 Дидактичка флексибилна ћелија..... | 115 |
| Слика 6.8 Симулација грубе обраде са параметрима и делом програма..... | 117 |
| Слика 6.9 Потпрограма за стартовање програма струга..... | 118 |
| Слика 6.10 Призматични део експеримента 2..... | 118 |
| Слика 6.11 Два цилиндрична обратка експеримента 2..... | 119 |

СПИСАК ТАБЕЛА

| | |
|---|-----|
| Табела 2.1 Стандард <i>ISO / IEC 14443</i> (преузето из рада <i>G.Mirkov, Z. Bakić & R. Žunjanin, 2017</i>) | 30 |
| Табела 3.1 Компарација <i>RFID, barcode</i> и <i>QR</i> идентификационе технологије (преузето из <i>Wyld D, 2006</i> и <i>Arendarenko E.,2009</i>)..... | 53 |
| Табела 4.1 Поређење <i>Macro</i> и класичног (<i>Ordinary manual</i>) програмирања (преузето и адаптирано из рада <i>Zhu Xiurongand & Zhang Guangcheng, 2016</i>) | 64 |
| Табела 4.2 Резултати упоредне анализе програмирања <i>CAM</i> технологије и параметарског програмирања (преузето и адаптирано из <i>Hetal N.Fitter, et al., 2014</i>) | 66 |
| Табела 4.3 Оператори поређења (преузето и адаптирано према <i>Programming Guide 10/2004 Edition, Sinumerik</i>) | 70 |
| Табела 4.4 Логичке операције (преузето и адаптирано према <i>Programming Guide 10/2004 Edition, Sinumerik</i>) | 71 |
| Табела 4.5 Типови варијабли дозвољени распон вредности (прузето и адаптирано према <i>Rafał Golebski, 2017</i>)..... | 71 |
| Табела 4.6 Системске променљиве (преузето и адаптирано према <i>Programming Guide 10/2004 Edition, Sinumerik</i>) | 72 |
| Табела 5.1 Структура зглобова работа | 93 |
| Табела 6.1 Модели за представљање несавршених информација (адаптирано према <i>Xu, 1997</i>) | 103 |
| Табела 6.2 Категоризација делова (<i>PERA, 1969</i>)..... | 108 |
| Табела 6.3 Процентуални удео од укупно претпостављеног броја карактера за сваку појединачну операцију машинске обраде према изабраним категоријама делова | 108 |
| Табела 6.4 Број и тип делова у анализи | 109 |
| Табела 6.5 Знање о различитим типовима <i>FMC</i> везано за карактеристику процеса представљених функцијама уверења | 111 |
| Табела 6.6 Расподела уверења за различите концепције <i>FMC</i> зависно од процентуалног удела класа делова | 113 |

ПРЕГЛЕД КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА И СТРАНИХ РЕЧИ И ИЗРАЗА

| | | |
|---------------|----------|--|
| ACL | енглески | <i>Agent Communication Language</i> – језик за комуникацију између агената |
| AOA | енглески | <i>Angle Of Arrival</i> – угао приспећа |
| CAD | енглески | <i>Computer Aided Design</i> - компјутерски подржано пројектовање |
| CAM | енглески | <i>Computer Aided Manufacturing</i> - компјутерски подржана производња |
| CAPP | енглески | <i>Computer Aided Proces Planning</i> - рачунарско потпомогнуто планирање процеса употребом рачунарске технологије за помоћ у планирању процеса дела или производа у производњи. |
| CNC | енглески | <i>Computer Numerical Control</i> – нумерички управљана машина |
| DFMC | енглески | <i>Didactic Flexible Manufacturing Cell</i> - дидактичка флексибилна производна ћелија |
| DFMS | енглески | <i>Didactic Flexible Manufacturing Systems</i> - дидактички флексибилни производни систем |
| DNC | енглески | <i>Direct Numerical Control</i> – директно нумеричко управљање |
| DOS | енглески | <i>Disk Operating System</i> – оперативни систем |
| EAI | енглески | <i>Enterprise Application Integration</i> - интеграција пословних апликација |
| EAS | енглески | <i>Electronic Article Surveillance</i> – врста тага која приказују присутност када пролазе кроз сигнално фреквентно поље. |
| EEPROM | енглески | <i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i> – врста меморије на транспондеру |
| EM | српски | <i>Евиденциона Мрежа</i> |
| EPC | енглески | <i>Electronic Product Code</i> - универзални јединствени идентификациони код производа |
| ERP | енглески | <i>Enterprise Resources Planning</i> – планирање ресурса предузећа |
| FMC | енглески | <i>Flexible Manufacturing Cell</i> - флексибилна производна ћелија |

| | | |
|--------------|----------|---|
| FMS | енглески | Flexible Manufacturing Systems - флексибилни производни систем |
| GPs | енглески | Global Positioning system – глобални позициони систем |
| GPRS | енглески | General Packet Radio Service – протокол за пренос података кроз GSM мрежу бежичним путем |
| GSM | енглески | Global System for Mobile Communications – глобални систем за мобилну комуникацију |
| GUD | енглески | Global User Data - систем кернел варијабле управљачке јединице SINUMERIK |
| HF | енглески | High Frequency - високо фреквентно подручје рада транспондера |
| HMS | енглески | Holonic Manufacturing Systems – <i>Holonic</i> производни систем |
| IDT | енглески | Intelligent Data Terminal - интелигентни терминал података |
| IEC | енглески | International Electrotechnical Commission – интернационални стандард за електротехнику, електронику и сродне науке |
| IMS | енглески | Intelligent Manufacturing Systems – интелигентни производни систем |
| IP | енглески | Internet Protocol – интернет мрежни протокол |
| KQML | енглески | Knowledge Query and Manipulation Language – језик за комуникацију између агената |
| LF | енглески | Low Frequency – ниско фреквентно подручје рада транспондера |
| LUD | енглески | Local User Data - апликативне варијабле на почетку програма управљачке јединице SINUMERIK |
| MACRO | енглески | Macroinstruction (<i>син.</i>) – је унапред програмирани узорак који преводи одређене унете податке у задати облик излазних података |
| MAS | енглески | Multi Agent System – систем мулти агената |
| MES | енглески | Manufacturing Execution System – систем за реализацију производње |
| MW | енглески | Middleware – посредни софтвер који пружа сервисе софтверским апликацијама |
| NC | енглески | Numerical Control – нумеричко управљање |
| OKP | енглески | One-of-a-Kind-Production - производна предузећа чији се делови производе само једанпут |
| PDM | енглески | Product Data Management – управљање подацима о производу |

| | | |
|---------------|----------|--|
| PLC | енглески | Programmable Logic Controller - програмабилни логички контролер |
| PERA | енглески | Production Engineering Research Association - британско удружење производних инжењера |
| PUD | енглески | Program-global User Data - варијабле намењене програмима и потпрограмима управљачке јединице SINUMERIK |
| QR | енглески | Quick Response – QR код, марични код, дводимензионални бар-код |
| R | енглески | R или ROM-Read-Only Memory - је врста трајне меморије која се користи у рачунарима и другим електронским уређајима |
| RF | енглески | Radio Frequency – радио фреквентан |
| RFID | енглески | Radio-Frequency Identification - радио фреквентна идентификација |
| ROS | енглески | RObotic Slides – клизач робота |
| RSSI | енглески | Received Signal Strength Indication – примљена јачина сигнала |
| SMA | енглески | Service Manager Agent – сервис менаџер агент |
| SOA | енглески | Service Oriented Architecture – сервисно орјентисана архитектура |
| TCP/IP | енглески | Transmission Control Protocol – група IP протокола |
| TDOA | енглески | Time Difference Of Arrival – временска разлика у приспећу |
| TOA | енглески | Time Of Arrival – време приспећа |
| UHF | енглески | Ultra High Frequency – ултра фреквентно подручје рада транспондера |
| UHT | српски | Ултра кратки таласи |
| VBS | енглески | Voluation Based Systems - систем базиран на вредновању |
| VTP | енглески | Visibility and Traceability Programme - управљачки ниво који дефинише прегледност и могућност праћења производње |
| WORM | енглески | Write Once, Read Many - описује уређај (<i>tag</i>) за складиштење података у којем се једном написане информације не могу мењати |
| XML | енглески | EXtensible Markup Language - стандардни скуп правила за дефинисање формата података у електронској форми |

1 УВОД

1.1 Предмет и циљ рада

Тенденције развоја савремене производње, а коју детерминишу захтеви тржишта, могу се дефинисати кроз захтеве: брже промене асортимана производа, организовање производње у малим серијама, побољшање квалитета производа, производњу „по наруџбини”, производњу „без залиха”, скраћење времена развоја производа и сл. Ови захтеви, чијем се остваривању приближава савремена производња нису ни приближно остварљиви без коришћења флексибилне производње. Концепт флексибилне производње намеће добро познавање хардверских компоненти, како производних и управљачких, тако и могућност њихове интеракције у циљу остваривања управљања производњом као и управљање квалитетом самог производа.

RFID (енг. *Radio-frequency identification*) технологија користи радио фреквенцију за размену информација. Идеја о спајању радио фреквентне идентификације (*RFID*) са комуникационо-информативним системима флексибилних обрадних система пружа могућност остварења прецизне и поуздане „*just-in-time*” аквизиције података. Код производних система који примењују *RFID* технологију записани подаци могу бити везани за сваки производ. *RFID* читач/писач може да прочита и/или напише податке, записе у близини пасивног елемента. На пример, прочитани подаци се могу пренети на рачунар и меморисати у делу програма за одлучивање и обраду.

Применом *RFID* у систему управљања омогућена је не само аутономна дистрибуција делова и мониторинг система, већ и аутономно решавање управљања техничким процесима унутар подсистема. На пример, *FMC*-а, издвојеног или као подсистем *FMS*-а. Тренутно, велики део напора је потрошен на развој нових врста система управљања производних процеса, који би били способни да сам технолошки процес учине флексибилнијим, агилнијим и реконфигурабилним.

Једна од значајнијих примена *RFID* у флексибилној производњи је идентификација и праћене делова у системима управљања транспортом. У знатној мери постојећи системи управљања транспортом имају низак ниво флексибилности, споро реагују на промене производног програма, тако да имају слабији динамички одзив система, посебно у случајевима када су делови мањег габарита, велике конфигурационе разноликости или мале учесталости појављивања.

Предмет и задатак овог рада је израда и презентација модела – новог – управљања дидактичким флексибилним производним системима (посебно *FMC*-а) заснованог на *RFID* технологији и рачунарској интелигенцији, а валидација и верификација резултата презентира се компарацијом карактеристика доступних развијених система – модела, и презентованог модела.

При изради рада, једна од активности, обухватила је сакупљање, класификацију и анализу прибављених података ради њиховог праћења, анализе перформанси процеса као и постављених циљева процеса, а ради уочавања њихових карактеристика, предности и недостатака, у циљу сагледавања побољшања квалитета и ефикасности управљања.

Управљање транспортом, или у стручним часописима чешће коришћени израз дистрибуција делова, те идентификација делова, као и додељивање процеса идентификованим деловима представљају сегменте на које се потенцијално може применити модел управљања применом *RFID* технологије. Код „класичних“ флексибилних производних система, систем управљања је централизован тако што главни рачунар, или њему подређен/и, прослеђује управљачке сигнале вршећи измену програма у управљачким јединицама које контролише, управља транспортом и обавља друге задатке који су му додељени. Ако су промене програма честе то представља оптерећење за систем управљања. Осим тога, за случај појаве непознате ситуације која се огледа у измени облика и димензија обратка, систем управљања није у могућности, и не може адекватно да реагује на технолошки поступак. Увођењем *RFID* технологије у модел управљања *FMC*-а могуће је систем децентрализовати и прилагодити управљање новим условима.

У вези изложеног, како је „паметан” модел управљања *FMC* императив савремене производње, а овај подразумева едукацију одговарајућег профила, то моделу управљања намеће и дидактичке захтеве. При њиховом сагледавању, осим напред наведеног, имају се узети у обзир елементи дидактичког приступа који укључује сагледавање различитог степена перцепције, нивоа учења, презентације знања, закључивања и реакције чиме систем стиче карактер адаптивног интелигентног система.

1.2 Основне хипотезе од којих се полази

Основне хипотезе од којих се полази при раду на докторској дисертацији су:

1. *Могуће је развити модел који би могао функционално да апроксимира динамички променљиве утицаја различитих радних стања флексибилног система.*

Проучавањем релевантне литературе класичних, већ развијених, флексибилних обрадних система (ћелија) и њиховом анализом могуће је утврдити и дефинисати факторе на које се може потенцијално утицати у циљу побољшања управљања. Неки од фактора су од раније познати и присутни у литератури као што су: централизовани систем управљања са неадекватним одзивом система, тромост на постављене задатке, грешке преноса информација, спорост у одзиву и др. С друге стране, присутни су и скривени фактори. Нарочито у системима који захтевају брзу промену програма, првенствено код *CNC* машинама које имају кратко време обраде, што може представљати уско грло у процесном циклусу и може се окарактерисати као недостатак агилности и динамичности система.

Из тих разлога могуће је проширити анализу проучавањем литературе, у циљу сазнања о савременим методама и достигнућима примењене сензорске технологије, која би се

могла имплементирати у управљање *FMC*-а. Ова проучавања не морају директно потицати из примењених, већ постојећих решења управљања флексибилних обрадних система, већ се могу као парцијална, тј. делимична употребити у системима управљања.

Ова хипотеза ће даље бити представљена детаљном анализом релевантне литературе која је кључна и односи се на унапређење модела управљања.

2. Могуће је остварити аутоматску идентификацију делова, оптимално и динамичко планирање задатака и дистрибуцију делова интеграцијом нове опреме у постојећу архитектуру

Од пресудног значаја за побољшање управљања је расподела делова и праћење обрадака унутар флексибилне ћелије. У странијој литератури термилошки изрази који се могу срести су: дистрибуција делова, идентификација делова као и додељивање процеса идентификованим деловима. Сам наслов докторске дисертације, на неки начин, предодређује примену радио фреквентне идентификације, али, без обзира на стање ствари, мора се спровести анализа применљивости сваке конкретне врсте радио фреквентне идентификације и установити погодност њене примене у моделу управљања флексибилном ћелијом. То је један од разлога што се у поставкама хипотезе индиректно наводе основне карактеристике *RFID* (*Radio-frequency identification*).

RFID технологија користи радио фреквенцију за размену информација између читача/писача (енг. *reader/writer*) и рачунара повезаног у мрежу. *RFID* систем карактеришу три примарне компоненте: програмирани чип, тагови (*tag*) као носиоци информација и читач/писач. У својој најједноставнијој примени *RFID* технологија може да замени бар-код са веома великом поузданошћу у односу на наведени. *RFID* се у индустрији фаворизује посебно у условима производње чији су уређаји потопљени у течност, изложени повишеној температури, прљавштини и прашини. У прилог овој технологији иде и чињеница да се *RFID* тагови не морају наћи у видном пољу читача, тако да се једним читањем може истовремено прочитати више различитих типова тагова.

Једна од претпоставки за могућност остваривања ове хипотезе је и интеграција нове опреме у постојећу архитектуру. То значи да архитектура *FMC*-а треба да има компоненте које су реконфигурабилне, да систем може бити доградљив и способан да прихвати нове функције које оплемењују сам систем. Проширивање система по свом карактеру доприноси развоју информативне способности и флексибилности *FMC*-а.

3. Могуће је идентификовати утицајне факторе за побољшање управљања и мониторинга

Могуће је креирати такву архитектуру која подржава дизајн, имплементацију и интероперабилност *RFID* технологије чиме омогућава дистрибутиван систем управљања и надзора за *FMC*. Поред тога, систем управљања би требао да реагује на непознату ситуацију која се односи на облик и димензије обрадака, да прилагоди транспортне задатке према могућностима технолошких поступака, да реагује на редослед и приоритет операција, а све према расположивости обрадних система. Увођењем *RFID* технологије у модел управљања могуће је *FMC*-у доделити нове захтеве који га првенствено децентрализују, те присутне рачунаре у систему растеређују и прилагођавају новим условима управљања.

4. Посматрани проблеми могу се карактерисати и као динамички проблеми који се могу решити применом анализе и оптимизације

Технолошки подаци могу бити обимни што за последицу има функционалну деобу и вишеструко читање/писање на тагу. Такође, и манипулативни подаци присутни у одређеним стањима *FMC*-а могу довести до „сецкања”, неопходних података записаних на тагу. Оваква стања се могу превазићи избором адекватног обрадног система, код којег је, с једне стране, количина података мања, а са друге стране, није умањена технолошност самог процеса. Из наведених разлога, у дисертацији је предвиђена анализа *RFID* података за више типова функционалних флексибилних ћелија које се разликују по својој структури. Анализа ће обухватити типове делова који су стандардизовани, или највише искуствено коришћени, а чине палету делова чији степен сложености одговара захтевима типичне конфигурације *FMC*. Такође, анализа ће обухватити ротационе и призматичне делове. Спроведена анализа, за наведене типове *FMC* према количини *RFID* података, реализоваће се применом *Dempster-Shafer* теорије функције уверења уз подршку софтверског алата (*McEvidence*), а добијени резултати ће указати на оправданост избора компонената према анализираној групацији делова. Флексибилна ћелија ће бити третирана као јединствени обрадни систем који мора да испуни захтеве производности.

1.3 Методе истраживања

У овом делу рада дају се методе које су коришћене током истраживања за израду ове докторске дисертације. Прва метода је метода научног прикупљања доступних података о имплементираним флексибилним обрадним системима заснованим на савременим производним филозофијама. Подаци који могу бити релевантни, представљају мишљења, анализе и закључке уочене од стране корисника, експерата и других истраживача који су уочили различите предности/недостатке примењених метода и техника управљања, али не само флексибилних ћелија (система) већ и њихових имплементираних компонената. Неодређени и недовољно прецизни подаци биће посебно анализирани и проучени, а теорија функција уверења (*Dempster-Shafer*-ова теорија) користиће се при анализи и верификацији избора компонената система са аспекта предложеног модела управљања флексибилном ћелијом и капацитета потребних *RFID* података.

У претежној мери заступљене су методе аналитичког посматрања теоријских извора података као и њихова анализа и синтеза. У највећем делу коришћена је стручна литература страних аутора, као и домаћих. У истраживању, поред класичне литературе у многоме је допринело коришћење информационе технологије, пре свега *web* сајтова, *e-literature* и базе података са интернета. За одређене логичке закључке, мишљења и приказе прихваћено је за валидно практично искуство великог броја запослених у индустрији и образовним установама Републике Србије и у свету, којем одговара и лично искуство аутора дисертације.

Методе моделирања динамичких система и провера функционалности, с посебним акцентом на конфликтне и паралелне операције, примениће се на почетку самог концепта модела управљања како би се приказало које све врсте акција треба применити унутар замишљеног система, али и система у развоју, а све у циљу реализације идеје.

Резултати такве анализе изложиће се кроз дијаграме који приказују структуру и понашање субјекта на највишем нивоу апстракције и не описују предмет детаљно. При том, дијаграм случаја је релевантан само за приказивање односа међу актерима и коришћење случајева система. Савремени концепт рачунарске интелигенције користиће се за моделирање и предвиђање узајамног рада компонената флексибилног система. Методама софтверског инжењерства заснованих на *RFID* технологији обезбедиће се двосмеран ток информација између пројектовања и производње у *FMC*-у.

1.4 Садржај дисертације са кратким обележјем

Садржај дисертације обухвата:

1. Увод
2. Приказ стања изведених дидактичких флексибилних ћелија
3. Преглед литературе
4. Модели управљања у *DFMS*
5. Модел управљања дидактичком флексибилном ћелијом
6. Резултати истраживања
7. Закључак
8. Литература

Прво поглавље дефинише предмет и циљ дисертације, полазне хипотезе, очекиване резултате и методе које ће се у истраживању примењивати. Представљене су полазне хипотезе, уводне и основне дефиниције, као и објашњења појмова неопходних за разумевање проблема који дисертација третира. Описане су методе истраживања и представљени очекивани резултати дисертације. На крају уводног разматрања је дат оквирни садржај дисертације.

У другом поглављу дају се основне карактеристике изведених *FMC/FMS* управљачких архитектура са посебним освртом на дидактичке флексибилне системе заступљене у образовним институцијама. Дефинисани су општи и посебни проблеми који прате флексибилне производне системе са наглашеном проблематиком која прати дидактичку опрему.

Треће поглавље карактерише класификација научних радова који дају предност праћењу производа у систему, потом научни радови који доминантно презентују достигнућа везана за моделе управљања. У овом поглављу даје се класификација и анализа транспортних проблема и разматрају се технолошки захтеви у производним процесима који се примењују *RFID* технологији.

Модели управљања у изведеним *DFMS* карактеришу четврто поглавље. Дата су делимична решења: изведених процеса, управљања применом технологије *RFID*, конструктивне изведбе реконфигурабилних роботских система јер дају добру основу за иновативна решења у моделу управљања *DFMC*.

Модел управљања дидактичке флексибилне ћелије карактерише пето поглавље. Биће предложен модел управљања *FMC* заснован на: примени *RFID* технологије,

параметарском програмирању *CNC* машина, генерисању података у реалном времену који су неопходни процесима уз примену адекватних агената.

У шестом поглављу, применом евиденционих система, представиће се резултати истраживања са становишта доношења одлука о избору концептуалног решења флексибилне ћелије. У ситуацијама пуним неодређености (непознаница) неке реалне проблеме могуће је измоделирати као евиденционе мреже. Евиденционе мреже су предложене као могућност процесуирања неодређеног знања описаног функцијама уверења, а омогућавају доношење закључака на бази добијених резултата. Коришћење ових метода и алата у фази избора (пројектовање система) *FMS* веома је значајно, а њихова примена мора да буде у складу са предходно изнетим резултатима истраживања, а ради унапређивања способности пројектног тима за поступак доношења одлука.

Експерименти и резултати експеримената, који су саставни део овог поглавља, оправдавају предложени модел управљања. На основу спроведених анализа могу се извести закључци који указују на смернице истраживања, као и правце развоја модела управљања.

У седмом поглављу приказана је дискусија хипотеза на основу добијених резултата. Акцент је дат на ограничењима модела, дефинисан је допринос дисертације са закључним разматрањима. Такође, дефинисани су правци будућих истраживања.

У поглављу осам дата је цитирана литература.

2 ПРИКАЗ СТАЊА

У овом поглављу дате су основне карактеристике изведених FMS управљачких архитектура са посебним освртом на дидактичке флексибилне системе заступљене у образовним институцијама. Дефинисани су општи и посебни проблеми који прате флексибилне производне системе са наглашеном проблематиком која прати дидактичку опрему. Приказане су две карактеристичне флексибилне ћелије са посебностима које их карактеришу.

Други део поглавља бави се основним поставкама радио фреквенце идентификације, као методе и средства које потенцијално може побољшати флексибилност обрадног система. Дају се стандарди и техничка решења изведених радио фреквентних уређаја.

2.1 Флексибилни производни системи

Флексибилни производни систем (*FMS*) је систем за производњу код ког постоји одређени степен флексибилности који даје могућност систему да реагује у случају предвиђених или непредвиђених промена.

Флексибилни производни системи представљају комбинацију саставних компонената које чине:

- нумерички управљане машине алатке,
- транспортни системи радних комада, и
- систем управљања који је тако повезан да омогућава аутоматску обраду малих и средњих серија.

Под *FMS*-ом подразумева се производна опрема, повезана са заједничким системом управљања и системом за ток материјала ради аутоматске производње различитих радних комада. Организација и техничка процедура као и програми су такође део система. Флексибилни производни системи представљају доследну реализацију идеје о истовременом повећању степена аутоматизације процеса обраде, транспорта и манипулације предмета и алата, уз повећање нивоа флексибилности применом одговарајућег управљачког система. Интеграцијом обрадних система (*NC/CNC*, *FMC*), складишних система, манипулативних система (нпр. *IR*), *CAQ* и транспортних система помоћу *IT* формирају се флексибилни технолошки системи (*FTS*). Једна (*SMC*) машинска ћелија или више флексибилних производних ћелија (*FMC*) које користе заједничку групну технологију (*GT*), повезане аутоматским транспортом и складишним системом, а управљане путем рачунара називају се једним именом *FMS*.

Скраћенице: У нашој литератури, како старијој тако и новијој, појављује се неколико назива и скраћеница везаних за појам флексибилни производни систем (*FPS*), и то:

- *FTS* - флексибилни технолошки систем,

- *FOS* - флексибилиим обрадним системи,

док се у страној литератури срећу се:

- *FMS- Flexible Manufacturing Systems* (енглеска скраћеница)
- *FFS – Flexible Fertigungssysteme* (немачка скраћеница).

Основни појмови *FMS* –а: Флексибилни производни системи су системи који садрже више аутоматизованих радних ћелија које су повезане аутоматизованим системом транспорта омогућавајући истовремену обраду предмета различитих облика. Радни предмети могу проћи кроз флексибилни систем на различите начине користећи више различитих радних ћелија/станица. Флексибилни производни системи могу се користити како за обраду призматичних радних предмета тако и за обраду округлих радних предмета. Обе врсте радних предмета захтевају поред различитих машина алатки и различите транспортне системе. Једни се стежу на палетама помоћу стезног прибора, појединачно или групно, и транспортују, а други се у великим количинама сакупљају (групишу) и појединачно транспортују. Кутијасте и призматичне делове се обично транспортују заједно са палетама и помоћним приборима за стезање. Ови делови се у зону обраде доводе помоћу измењивача палета или столова за измену палета. Код обраде обртних делова, у првом реду среће се аутомат за манипулисање, чешће робот. Робот узима појединачне делове, један за другим, доноси их до стезне главе, обрађене комаде замењује необрађеним и на крају обрађени део одлаже са готовим деловима.

Флексибилни производни систем мора да испуњава специјалне услове производње да би рентабилно функционисао. Ту спадају:

1. Аутоматска и, поред тога, флексибилна производња за породицу (групу), радних предмета коју чине радни предмети сличног облика и израде.
2. Једноставно прилагођавање променама условљеним тржиштем, које се односе на број комада, геометрију и технологију, као и увођење и нових радних предмета у процесу обраде.
3. Потпуно аутоматизован начин рада са минималним ручним захватима, односно хуманизација постојећих радних места одвајањем људи од радног процеса.
4. Могућност каснијег развоја уређаја без већег искључивања из погона или измене постојећег система.
5. Ако се једна компонента система искључи из рада, друге компоненте морају привремено да преузму њене функције.
6. Конструкција треба бити подесна за сервисирање да би се олакшало одржавање и отклањање кварова.

Пројектовање *FMS*-а, а посебно избор машина које ће се користити врши се према радним предметима и производним задацима. Основни предуслов је употреба машина са нумеричким управљањем, и то по могућности изведби универзалнијих *CNC* машина (нпр. *CNC* глодалица). Према садашњим искуствима препоручује се коришћење што је могуће више стандардних машина, и то две а највише три, различитог типа. Ако једна машина због квара или неког другог разлога престане са радом, остале машине морају привремено да преузму њене функције, да би се спречио потпуни застој производног система. Ниједна од машина не би требало да буде тако уграђена да се може користити само за један специјални радни предмет. За сваку машину мора да постоји могућност флексибилног коришћења, са изменом програма, алата, помоћног прибора и др.

Породице делова, за које се пројектује флексибилна производња, анализирају се према броју комада, разноврсности типова, величини и тежини. На основу тога утврђују се потребне радне операције, број алата итд. Полазећи од ове основе, може се утврдити тип, број и величина потребних машина алатки. Након дефинисања обрадних система *FMS*-а следи анализа и избор транспортног система за фамилију делова.

У циљу побољшање флексибилности посебан интерес је: познавање архитектуре система, карактеристике модела управљања (са свим предности, проблемима и недостатцима) изведених флексибилних система. Значајно је познавање рада система у различитим производним ситуација која прате производни процес. На даље се излажу управљачке архитектуре *FMS* на које се потенцијално могу применити новоразвијени сензорски уређаји, мрежни системи као и компоненте како извршне тако и управљачке.

2.1.1 Класична управљачка архитектура

Према *Dilts* и ост., *FMS* класичну управљачку архитектуру, присутну у периоду прошле деценије, карактерише неколико типова варијантних изведби: централизована, хијерархијска, модификована хијерархијска и хетерохијерархијска (*Dilts et al.*, 1991).

Централизовани систем управљања карактеришу глобални приступ релевантним информацијама и подацима, дајући му способност лаке глобалне оптимизације и избегавања технолошких вишкова у складиштима. Овако постављена архитектура поседује одређене недостатке коју карактерише: висока сложеност централизованог управљачког система, лоше време одзива од стране имплементираних машина и уређаја и уопште врло велику толеранцију на грешке целог система.

Хијерархијску структуру, одликује декомпозиција централизоване сложене структуре у мање ентитете. Проток информација се врши слањем команди одозго на доле и кроз пружање информација одоздо на горе. Што је ентитет већи има разгранатију (већу) хијерархију и увећање издатих и примљених команди. Карактеристичан пример производне хијерархијске архитектуре је архитектура саграђена на блоковском принципу, а комуникација је заснована на ћелијском принципу (нивоу) (*Browne*, 1988). Предности хијерархијског управљања, према *Duffie & Prabhu* су: снага (робусност), брзо време одзива, предвидиво понашање система и смањена сложеност имплементираних компоненти. Недостаци, наводе аутори, су постојање различитих комуникационих веза и лошије понашање система на поремећај чиме се смањују перформансе система, и/или ако другачији, алтернативни план процеса мора бити спроведен (извршен) тада је отежана модификација структуре (*Duffie & Prabhu*, 1994).

Модификована хијерархијска структура проширује класичну хијерархијску архитектуру обезбеђивањем комуникације управљања равноправним управљачким компонентама по принципу *peer-to-peer*. Комуникација *peer-to-peer* омогућава бољу синхронизацију за пренос података и доприноси бољем одговору на настале поремећаје. Негативни аспекти присутни код већине класичних хијерархиских архитектура и даље остају присутни и код модификоване хијерархијске структуре (*G. Mirkov, Z. Bakić & R. Žunjanin*, 2017). У циљу превазилажеља хијерархијске архитектуре, посебно не флексибилности за адаптационе брзе промене у току производње, развијене су „flat” (равне организационе структуре) које се одликују хоризонталним протоком информација. Сви организациони субјекти се налазе на истом организационом нивоу. Први такав развио је

Hatvany (*Hatvany*, 1985). Даљи развој иде ка дистрибуираном начину распореда за децентрализоване системе (*Veeramani et al.*, 1993).

Хетерохијерархијску организациону структуру оба аутора, *Hatvany* и *Veeramani*, идентификују као смањење сложености, а кварове и прилагодљивост као главне предности хетерохијерархијске организационе структуре. Недостаци су изражени у недостатку надзора ентитета јер је повећана вероватноћа оптимизације система само локално, као и недетерминистичко и непредвидиво понашање система.

2.1.2 *Agent-base* управљачка архитектура

Agent-base управљачку архитектуру карактерише децентрализоване системе архитектуре са интензивираним растом технологије за рачунаре, синхронизацијом, комуникацијом и разменом информација која је основа за даља усмеравања. Софтверски систем, *Agent-base* је виђен као образац у прорачунавању и софтверски развој. Тако, (*van Dyke Parunak*, 1998) наводи да агенте одликују аутономија, самоодговорност, самоопоравак, те су ове технологије главни аспекти будућих производних система.

(*Russel et al.*, 2010) издвајају четири врсте агената:

- агенти простог рефлекса (енг. *Simple reflex agents*) који избор радњи (активности) формирају на бази основног опажања без узимања у обзир историје амодалног запажања;
- агенти засновани на рефлексу *Model-based* (енг. *Model-based reflex agents*) укључују у модел своја опажања из окружења и праћење тих промена;
- агенти засновани на *Goal-based* рефлексу (енг. *Goal-based reflex agents*) обогаћују модел управљања до циљева који описују пожељне ситуације и коначно
- кориснички засновани агенти (енг. *Utility-based agents*) који допуњују циљ додатком (додавањем) одређеног степена корисности. Учење самих агената као део агената (као део истих) може побољшати њихов рад (перформансе).

Захвљујући чињеници да агенти и системи утемељени на агентима немају заједничку дефиницију, уопштено постоје две апстракције (*Monostori et al.*, 2006):

- агент је рачунарски систем који је присутан у динамичком окружењу и способан је да испољава аутономно и интелигентно понашање, и
- агент може имати окружење које обухвата друге агенте. Скуп интерактивних агената као целина функционише као систем мулти-агената (енг. *multi-agent system- MAS*).

Према (*Monostori et al.*, 2006) агенте карактеришу следеће кључне тачке:

- агенти делују у име њиховог дизајнера или корисника и представљају испуњење одређене сврхе;
- агенти су аутономни у смислу да они контролишу како своје унутрашње стање тако и понашање у окружењу;
- агенти показују неку врсту интелигенције од примене фиксног правила за способност (реаговања) резоновања, планирања и учења;

- агенти могу бити хетерогени,
- агенти ступају у интеракцију са својим окружењем, и у заједници са другим агентима; и
- агенти су идеално прилагодљиви, односно способни да по својој мери кроје своје понашање према променама у окружењу без интервенције свог дизајнера.

Из претходних карактеристика може се закључити да је основна особина агента његова способност да доноси независне одлуке и реагује на промене у окружењу. Није реткост да у моделима агенти неће имати све побројане особине. То пре свега зависи од природе и сложености система који се моделира. Законитости и правила понашања агента могу да буду мање или више комплексна односно сложена, што је у функционалној зависности са количином и бројем информација које агент користи при доношењу одлука. Агенти имају имплементирана, тј. уграђена понашања која им, сходно врсти и особини, омогућавају да доносе независне одлуке; они нису пасивни (статични) реагују на улазе које добијају од других агената или из околине у циљу остваривања постављених циљева. Сваки агент има своје границе, тако да се лако могу раздвојити атрибути који припадају агенту и заједнички атрибути у систему. Понашање агента може бити дефинисано једноставним правилима понашања, али може бити дефинисано и врло сложеним адаптивним понашањима. У току времена агенти пролазе кроз различита стања. Стање агента у неком тренутку описано је његовим атрибутима. Стање модела заснованог на агентима зависи од појединачних стања свих агената у систему и стања околине. Понашање агента је функција његовог стања.

Агенти имају динамичке интеракције са другим агентима који узрочно/последично дефинишу његово понашање. Карактеришу их уграђени протоколи за интеракцију са другим агентима. Обично имају уграђене протоколе за комуникацију. Агентима могу бити додељени на управљање различити ресурси или могу апсорбовати ресурсе. као плод интеракције са другим агентима који их додатно разликују од других агената. Мулти агентски системи су изградили мрежу агената који су у садејству са другим агентима способни да комуницирају међусобно у циљу постављања заједничког циља/ева.

Циклус изградње модела на бази агената обично пролази кроз следеће основне фазе:

- *формулисање питања истраживања.* Потребно је добро дефинисати проблем и питања на која треба одговорити у току истраживања,
- *постављање хипотезе* је један од кључних корака у процесу моделовања. Хипотезе се могу поставити за све или одређене процесе и структуре у систему,
- *дефинисање структуре модела* је процес формулисања документа који описује структуру модела,
- *имплементација модела* је корак у коме се вербални модел, добијен у претходном кораку, претвара у математички модел или рачунарски програм, и
- *анализирање, тестирање и исправљање модела.*

Поред наведених основних фаза кроз које пролази изградња модела на бази агената, у литератури се срећу и други значајни кораци као што су: дефинисање понашања агената (правила понашања агената од једноставних ка сложенијим), идентификација понашања

агената (спецификација понашања агената), одабир платформе и стратегије за развој модела, обезбеђивање неопходних података за развој агената, валидација понашања агената и анализа и покретање модела.

Модели засновани на агентима могу се реализовати са уобичајеним програмским језицима и алатима или у окружењима која су посебно намењена за ову врсту моделовања. Све ове врсте софтверских модела поседују одређене карактеристике и приступ решавању проблематике. Једна од значајних карактеристика је међусобна комуникативност за који је потребан одговарајући језик, средства комуникације као што су: *ACL* (енг. *Agent Communication Language*), *KQML* (енг. *Knowledge Query and Manipulation Language*) и *FIPA ACL* (енг. *Foundation for Intelligent Physical Agents*).

Архитектуре засноване на технологији агената развијени су за различите сврхе производње.

2.1.3 HMS архитектура

HMS (енг. *Holonic Manufacturing Systems*) је примећена као новина за интелигентну организацију флексибилне производње. Развијен је у оквиру *IMS* (*Intelligent Manufacturing Systems*) иницијативом (*IMS 2012*). Реч *Holonic* предложена је од стране *Arthur Koestler* (*Koestler 1989.*). *Holon* је комбинација грчких речи *holos* (целовит) и суфикса – *on* који је његов средњи облик. *Holonic* управљање треба да комбинује предности оба (предходно наведена) управљања; хијерархијског и хетерохијерархијског управљања, са циљем избегавања наведених недостатка (*van Brussel et al., 1999*). У оквиру интелигентних производних система (*IMS*), наводе се следе дефиниције које су релевантне за *HMS* (*Christansen 1994*):

- *holon*: аутономни и кооперативни градивни блок у производном систему за трансформацију, транспорт, складиштење и/или вредновање информација и физичких објеката. *Holon* се састоји од дела за обраду делова. *Holon* може бити део другог *holona*.
- *аутономија*: способност ентитета да створе и контролишу извршење сопствених планова и/или стратегија.
- *кооперација*: процес којим скуп ентитета развија међусобно прихватљиве планове и реализује их.
- *holarchy*: систем *holon*-а који су кооперативни (међусобно сарадљиви) да би постигли циљ или објекат. На нивоу *holarchy* дефинишу се основна правила за кооперацију *holon*-а и на тај начин се лимитира аутономија.
- *HMS*: *holarchy* интегрише читав низ производних активности из реда „резервација” путем пројектовања производње и маркетинга за реализацију агилне производње.

У управљачкој архитектури сваки *holon* је самоуправљив и самоспроводљив (изводљив) који је кооперативан, договорљив са другим ентитетима у систему. Сваки *holon* може бити састављен од других *holon*-а који граде хијерархијску управљачку архитектуру – *holarchy*. Предности овакве револуционарне и еволуционе архитектуре се односе на

испуњавање кључних захтева као што су поремећаји управљања, доступност и робусност као и за хумане интеграције и флексибилност (*Christensen, 1994*).

На основу генеричког описа *holonic* система развијено је неколико дизајна и референтних архитектура. Референтне архитектуре требало би да обезбеде кохерентни инжењеринг и дизајн принципе за специфични домен, укључујући јединствену терминологију, структуре система, систем компонента и њихова задужења и др. (*Wyns et al., 1996*). Главни задатак у пројектовању и имплементацији *holonic* производних система је идентификација потребних *holonic*-а.

2.1.4 Релевантни индустријски стандарди

Стандарди играју важну улогу за успех нових приступа у индустријском спровођењу. Кратак опис релевантних индустријских стандарда има корисност при реализацији ове докторске дисертације.

IEC 61131 и *IEC 61499* су кључни стандарди индустријског управљања. Стандард *IEC 61131* регулише стандарде за програмирање програмабилних логичких контролера (PLCs). *IEC 61131* је засад подељен у осам делова за различите целине. Конкретно *IEC 61131-3* дефинише стандардизацију програмских језика, а *IEC 61131-5* бави се питањима везаних за комуникацију. Најновији *IEC 61131-9* односи се на интерфејс за мале сензоре и актуаторе и доступан је као пред верзија званичног стандарда (*IEC 2013*).

У циљу решавања будућих изазова који се постављају пред индустријске системе *IEC 61499* дефинише отворену архитектуру за дистрибуирано и уграђено управљање и аутоматизацију (*IEC 2005*). Између осталог *IEC 61499* дефинише поновну употребу модула (функција блокаде) кретања (погона) извршавања и података. *IEC 61499* је званично у употреби од 2005 год. на студијама раног случаја догађаја које истражују употребљивост и перформансе *IEC 61499* (*Gerber et al. 2008*). Прихватањем и усвајањем овог стандарда индустрија може имати бенефите ка новим холоник и другим софистицираним решењима. На пример постоје одређене препреке које се односе на детерминизам, перформансе, IP заштиту (за које треба да се отворе; покрену нови стандарди) или ефекте закључавања (уређаја, софтвера, развоја алата, итд.). Много времена и труда је потребно да би се добио исти ниво достигнућа као комерцијални *PLC* алати (*Vyatkin, 2011*).

Поред наведених стандарда управљања треба узети следеће стандарде у обзир када се говори о индустријској имплементационој архитектури: *IEC 61158* регулише поље технологије за индустријске системе мрежа, предвиђене за рад у реалном времену за дистрибуирано управљање (*IEC 2010a*) и *IEC 61784* који дефинише скуп протокола комуникације (*IEC 2010b*). *IEC 61804* даје инструкције, препоруке за интеграцију уређаја да би се испунио услов компатибилности, услов међусобног рада, способност повезивања, интероперабилност и способност размене података (*IEC 2003b*). *IEC 61804-3* одређује *Electronic Device Description Language (EDDL)* технологија. *EDDL* је генерички језик за описивање особина компоненти система аутоматизације на синтаксно независан начин (*IEC 2010c*). *AutomationML* (енг. *Automation Markup Language*) пружа отворени стандард за неутрални формат података на основу *XML* за меморисање и размену фабричких инжењерских информација (*W3C 2006*). Ово омогућава међусобно повезивање хетерогених инжењерских алата и уређаја. Реалне компоненте описане су од

стране објеката који су у стању да обухвате и друге под-објекте. Као резултат тога, могу бити дефинисане композиције које се веома разликују у детаљним описима. Атрибути типичних објеката сачињавају геометрију, његову кинематику, његово понашање, своју позицију унутар хијерархијског система топологије и односе са другим објектима (*Drath et al.*, 2008).

2.1.5 Флексибилност као мерило квалитета *FMS*-а

Посматрана глобално, флексибилност је могуће класификовати у две категорије. Прва категорија односи се на флексибилност машина, која обухвата способност система да се мења производња за нове врсте производа и способност да се мења редослед операција извршаваних на делу. Друга категорија се односи на усмеравање флексибилности, која се огледа у способности да се користи више машина за обављање истих операција на конкретном делу, као и способност система да апсорбује промене великих размера као што су запремина, капацитет и потенцијал.

Према (*G.Mirkov, Z. Bakić & R. Žunjanin, 2017*) анализа и проучавање флексибилне производње заснива се на анализи и проучавању флексибилних производних система (*FMS*). Сходно томе, ови системи су фундаментални чиниоци савремене производне оријентације, усмерени на аутоматизацију производних процеса. Производни систем састоји се, у принципу, од технолошких и техничких и информационих подсистема, у који је укључен и људски фактор. Тако, флексибилни производни систем има структуру састављену из: техничко-технолошких компонената: *Hardware* и управљачко-програмских компонената *Software*.

Такође, аутори наводе да већина постојећих система управљања транспортом у домену флексибилне производње карактерише недостатак флексибилности и агилности. Истичу нарочиту заступљеност кад је у питању производња већег броја разноликих, компликованијих производа мањег габарита, који изискују брзу промену производног програма, са краћим временима обрадног процеса и сложенијим манипулационим (транспортним захтевима) унутар система. С друге стране, већ у фази манипулације истог могуће је искористити информације о производу у циљу унапређења управљања процесом, па је од суштинског значаја информација о идентификацији сваког дела који је присутан у *FMS*-а (*FMS*-а), што је и делимично заступљено код већине постојећих система.

Широко распрострањена метода управљања код флексибилних производних система је централизован систем управљања. Контролери сваког подсистема присутног у *FMS*-у попут станичног, хелијског, хијерархијски су повезани за главни централизовани рачунарски систем управљања који доноси све одлуке везане за процесе. Из литературе је познато да је централизован систем управљања продуктиван када је број различитих производа мали и кад обим производње много не варира. Међутим, овај метод није ни флексибилан, ни агилан за високо варијантне производе са релативно малом запремином. Научници су се током истраживања трудили да развију такве врсте процеса надзора и управљања производњом који би задовољили захтеве чије су карактеристике: агилност, делимична адаптивност и способност производње непознат управљању. Једно од могућих решења, примењено у сврху децентрализације производње и управљања транспортом, је имплементација технологије радио фреквентне идентификације.

2.1.6 Дидактички флексибилни производни системи

Дидактички флексибилни системи (*DFMS*) по својој примењеној архитектури и моделу управљања у потпуности одговарају индустријским системима. Са становишта управљања све особине и карактеристике, наведене и претходно описане односе се и на *DFMS*. Системи управљања *DFMS* обично поседују, додатно, сигурносне хардверске компоненте и софтверска ограничења која ученицима/студентима, у зависности од нивоа изучавања предавач поставља тј. одређује.

На пример хардверска компонента система је обично контролни систем чији је задатак да тестира број битова усмерен ка компоненти или збирно компонентама система. Ако овај број битова одговара програмираном тада се управљачки сигнали пропуштају ка компонентама. Ову пропусност сигнала укључује/искључује предавач у зависности од потребе и исхода изучавања. Проблематика везана за примену хардверских компонента није карактеристика индустријских *FMS* већ искључиво *DFMS* и спада у домен наставног процеса чије су карактеристике усмерене ка безбедности, очигледности, дуалној контроли процеса, верификацији написаног програма, и др.

Софтверска ограничења углавном се односе на потпуну применљивост софтвера на одређеном нивоу. На пример меморисање карактеристичних тачака робота је могуће искључиво путем ручног управљања (путем *Teach Pendant*) на најнижем нивоу, што дефинише предавач, постављањем одређеног степена изучавања. Потпуна функционалност меморисања тачака робота могућа је на вишем нивоу изучавања. Ова проблематика везана је за ниво изучавања.

Први дидактички флексибилни системи који су се појавили у образовним установа Републике Србије и земљама у окружењу, су углавном били системи затвореног типа, по систему „кључ у руке”. Наиме, произвођачи дидактичких *CNC* машина су још у фази развоја својих производа предвидели могућност уградње ових система у флексибилну производњу и то углавном, за флексибилне ћелије, креирајући унутар обрадних система интерфејс *DNC* картице за везу са надређеним, обично једним РС рачунаром. Транспортни систем за манипулацију обрадцима унутар ових *FMC* конструкција углавном је био робот, обично већ постојеће конструкције, који би одговарао уградњи по својим габаритима и карактеристикама. До појаве јефтенијих, и едукативних роботских система то су углавном били роботи произведени у Јапану, нпр. роботи који су радили у аутомобилској индустрији, а уз ситне конструктивне преправке су у потпуности одговарали оваквим флексибилним системима (проблеми завршних уређаја и постоља). Ови флексибилни системи радили су под оперативним системом *DOS*, а нешто касније и под *Windows* окружењем, у ком су развијане специфичне команде за управљање и програмирање система.

Са становишта управљања, па и самог модела управљања *FMC*, шире *FMS*, задовољавали су потребе тадашњег изучавања и обуке кадрова за рад на елементима флексибилних система. Одређене образовне националне институције (нарочито Немачке) биле су на становишту, да се кадрови обучавају на очигледнијим (правим командним таблама или симулационим командним таблама, идентични индустријским, везаних за симулаторе) управљачким системима *CNC* машина, чиме би се избегли додатни трошкови образовања. Између управљачког РС рачунара и компоненти које чине систем, често се налазио контролни систем (*Control Panel*) за проверу исправности програма и спремности одређених уређаја за адекватну акцију (контрола битова или

суме битова у систему). Ово је давало корисницима и професору додатну сигурност при реализацији и тестирању програма. Ови системи, делимично конструктивно унапређени, могу се још увек срести у образовним системима (нпр. Пољска), а имали су обично заступљена два основна модела управљања компонентама:

- први, у ком су интегрисане компоненте управљају и контролишу преко програма за робот, и
- други, који компоненте у систему третира равноправно, што је очигледније индустријском начину управљања.

На даље се дају примери ове две карактеристичне, изведене *FMC* архитектуре у Р. Србији.

Прва архитектура *DFMC* имплементирана у образовној институцији Републике Србије, шематски је приказана на слици 2.1. Компоненте система чине: *CNC* струг (*Emco COMPACT 5CNC*) и *CNC* глодалица (*Emco F1 CNC*), робот (*MITSUBISHI MOVE MASTER*) са управљачком јединицом (енг. *Drive Unit*) и пнеуматска стаза (*ROS*) за довођење робота у положај наспрам машина. Машине имају, као стандардну опрему, развијену *DNC* интерфејсну улазно-излазну (енг. *I/O*) картицу преко које се може управљати следећим улазним функцијама: управљање револвер магацином алата, програм стоп, програм старт, довођење машине у статус за слање програма, довођење машине у статус за пријем програма са машине као и посебна функција све стоп. Активности улаза могу се пратити путем излазних функција: статус машине ручни/аутоматски, програм у току, програм привремено заустављен, укључено обртање вретена, временско заустављање. Робот, *CNC* машине и *ROS* управљачке сигнале добијају од РС рачунара. На путу до компонента система ови сигнали пролазе кроз контролни систем (*Control Panel*) који има могућност да одређени управљачки сигнал:

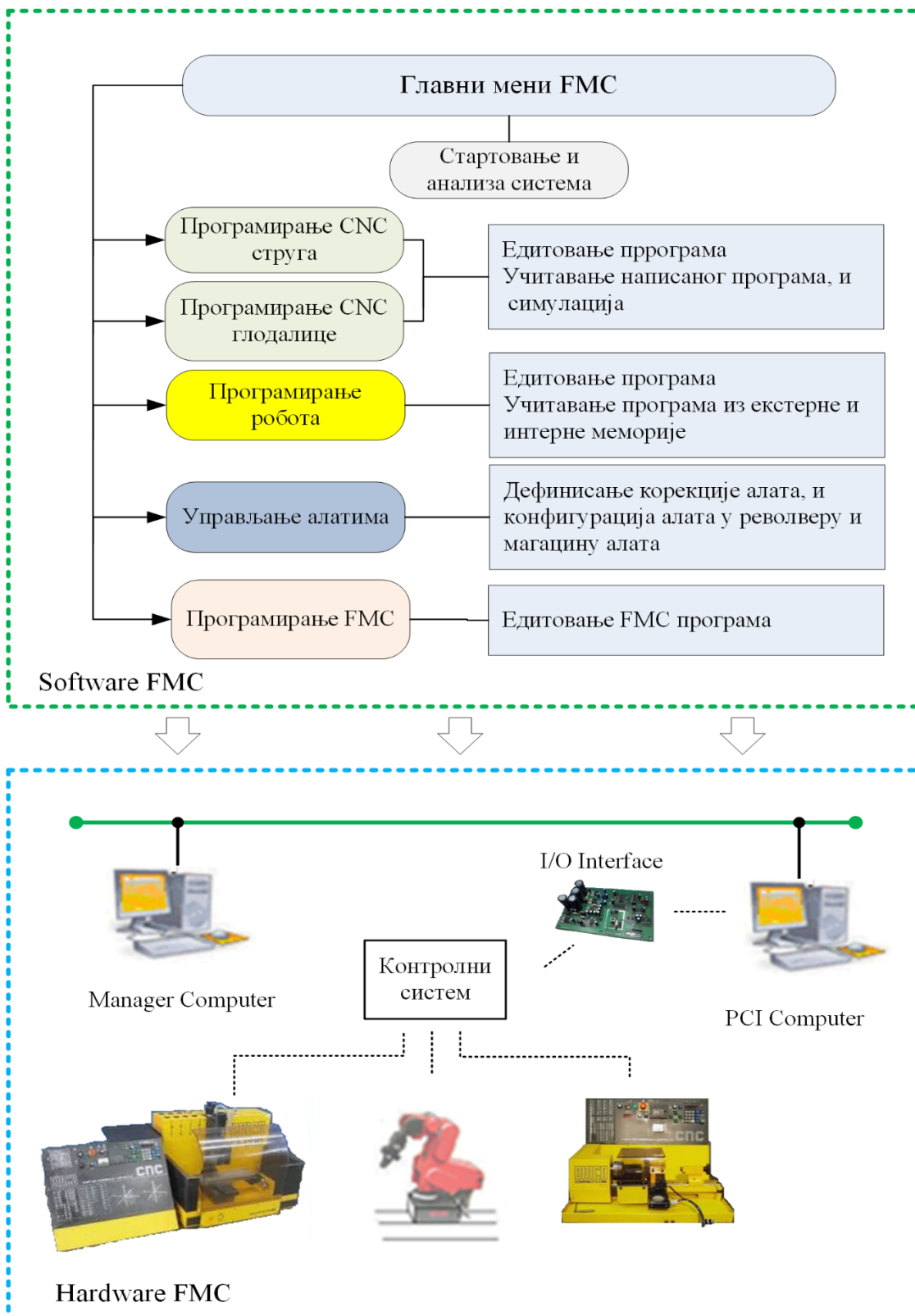
- безусловно пропусти, и
- пропусти уз одобрену потврду оператера или професора (рад *FMC* са мање искусним корисницима).

Такође ови управљачки сигнали на излазу из контролног система морају се појачати на ниво погодан за управљање. Према документацији произвођача и искуствено, сигнали из рачунара се појачавају и доводе на ниво погодан за управљање компонента (нпр. за *CNC* машине напон дигиталног сигнала је 5 - 24V, а трајање импулса 0.5 sec.). Путем серијског интерфејса и адекватног протокола остварује се трансфер програма. Програмски сигнали намењени *CNC* машинама и роботу пролазе другим каналима користећи X-ON/X-OFF протокол. Интерфејси присутни у дистрибуцији програма су стандардни: V24, RS232B и RS232C.

Да би се остварила међусобна координација између машина, робота и припадајуће опреме користе се дигитални I/O интерфејсне картице преко којих систем управљања, према одређеним логичким правилима (законитостима) прослеђује сигнале. Ова правила су у већини случајева по свом карактеру процедурална и узрочно последична.

Управљање алатима, код овако конципираних, првобитних дидактичких *FMC* система је на ниском нивоу управљивости, јер се мерење код истих обавља ван система, подаци се уносе у посебно дефинисане меније централног рачунара и као такви се придружују алату у *NC* програму. Разлог оваквог приступа је да се програмирање овог тип машине

што више приближи стандардним изведбама. Овакви системи поседовали су делимичну програмску симулацију, углавном *NC* програма, ређе програма за робот.



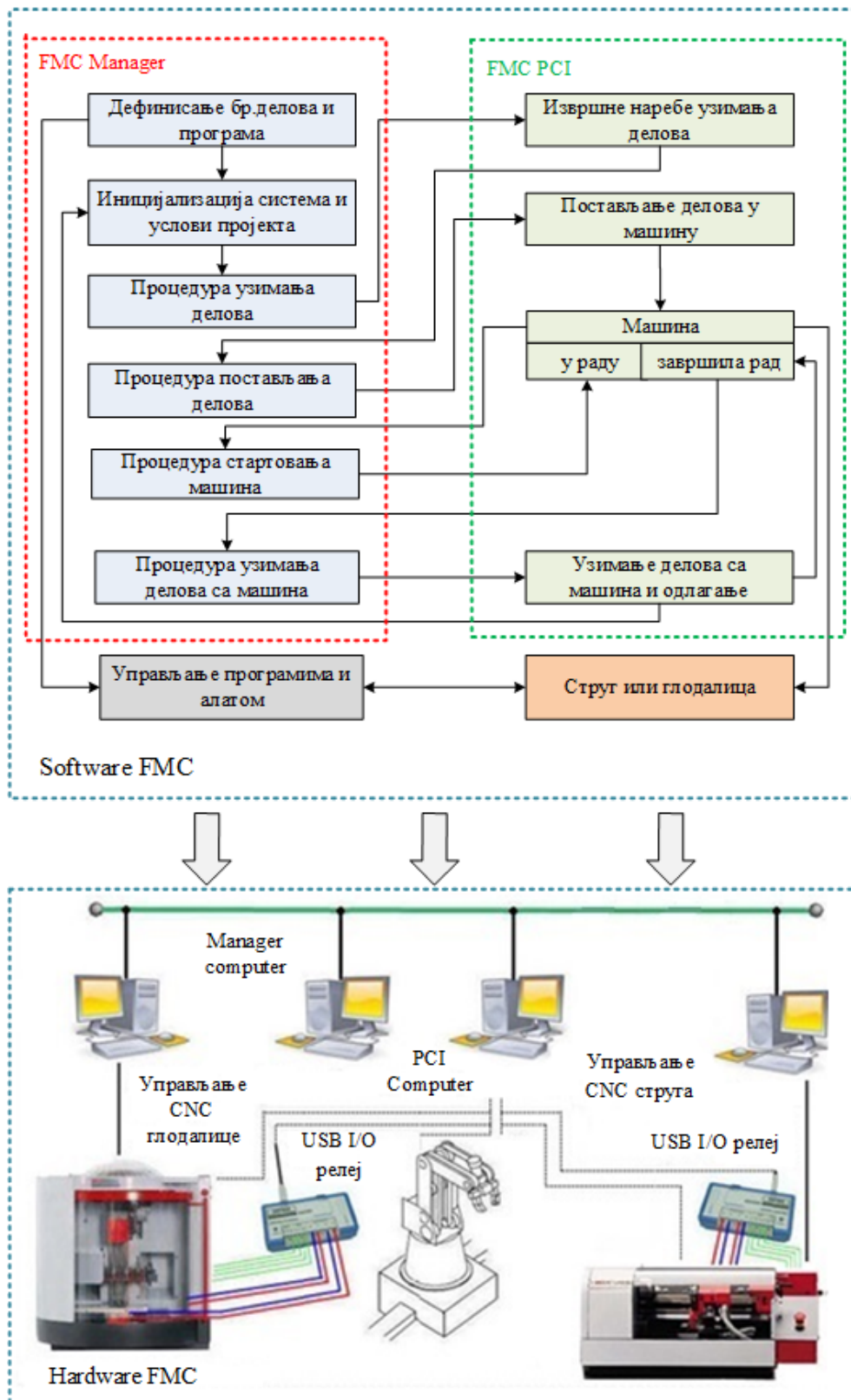
Слика 2.1 Прва архитектура *FMC* лабораторије

Развојем рачунарске опреме, посебно мрежних окружења, као и дидактичких *CNC* машина које за управљачке јединице користе РС рачунаре са командним таблама које су изгледом идентичне индустријским, као и отвореним роботским конструкцијама заснованих на универзалној серијској магистралу (*USB* - енг. *Universal Serial Bus*), дошло се до дидактичких *FMC* и *FMS* конструкција друге генерације, које су се нашле у образовним установама Републике Србије.

Из тих разлога одабрана је дидактички *FMC* приказан на слици 2.2, као репрезент новије генерације. *FMC* чини следећа инсталирана опрема: *CNC* глодалица (*Emco Concept Mill 55*) са осмостаничним магацином алата, *CNC* стругом (*Concept Turn 55*) са осмостаничним револвер магацином алата и управљивим коњићем, робот (*SCORBOT-ER 4u, Intelitek Inc, Израел*) задужен за транспорт и манипулацију обрадака унутар *FMC*, гравитациони додавач (енг. *Gravity Feeder*) са микро прекидачем цилиндричних делова и пнеуматски управљиви додавач призматичних делова (енг. *Pneumatic Feeder*) са сензором близине. Како *USB* контролер робота не пружа довољно *I/O* за комплетан рад свих функција за аутоматизацију машина предвиђен је *USB I/O* интерфејс који обезбеђује управљање заштитним вратима машине, као и функцију стегања/ отпуштања припремака/обрадака. За ту намену користи се, за сваку машину, по једна групација релеја.

Кориснику су на располагању софтвери за симулацију *CNC* машина која су од изузетне помоћи, а резултате програмирања је могуће проследити применом мрежног окружења рачунару саме машине (нпр. глодалице). За једноставније и краће програме, или неопходне ситуације интервенције могуће је директно користити софтвер на машини, тј. директни приступ програму за управљање *CNC* машином. Метод комуникације на релацији корисник - машина је двојак. Произвођач је развио дуални систем послуживања машина – преко командне табле и РС тастатуре. Како машине располажу са осам станица за алате чија је поставка непроменљива за одређени временски период експлоатације то су и информације везане за корекцију и тип алата фиксне и корисник их може само употребљавати при развоју свог технолошког поступка. Слично овоме се користи привремено постављена фиксна нулта тачка радног предмета, док је потреба за њеним померањем у оквиру технолошког поступка могућа опцијама програмирања (*CNC* програма). Контрола процеса је остварена преко *Manager Computer*, док се програми за робот дефинишу путем *PCI Computer* за који је прикључен и контролер робота. Како су рачунари умрежени постоји узајамна комуникација у извршавању написаног *FMC* програма. Наиме сви извршни делови програма за које је задужен контролер робота морају се препустити *PCI Computer*-у.

Софтвер за управљање процесом ове *FMC* нема потпуну флексибилност ка машинама као што је програмска измена *CNC* програма у току једног циклуса или управљање алатом. Пошто су управљачки системи на машинама РС рачунари, није могуће применити *DNC* (енг. *Direct Numerical Control*) у правом смислу. Путем мрежног окружења рачунара *FMC* могуће је имплементирати апликативне програме који ове управљачке захтеве у потпуности остварују тј. реализује се идентична функционалност као код индустријских *CNC* машина. (*Ayatollahi et al., 2013*). Програмирање додатних екстерних уређаја (нпр. релеја) може допринети повећању степена флексибилности *FMC*. Овај тип програмирања се обично реализује путем предходно написаних *script file*-ова који морају бити присутни при реализацији извршног програма. Глобално посматрано овим и оваквим начином је могуће решити наведене недостатке присутне код овог типа *FMC*.



Слика 2.2 Друга архитектура FMC лабораторије

Наведени тип управљања ове дидактичке флексибилне ћелије спада у категорију отворених система, јер је омогућена промена конфигурације система, увођењем нове опреме (нпр. регалног складишта) или повећање броја програмских места у систему. Евидентно је из изложеног, да се за наведену конфигурацију система, управља дидактичком *FMC* преко контролера робота.

Недостаци изложених управљања, глобално посматрано, сличних дидактичких *FMS* огледа се у:

- слабијој флексибилности транспортног система - дистрибуција делова чији узроци могу потицати од централног система управљања,
- малом броју контролисаних улазно-излазних функција и непотпуну интеграцију *DNC* (енг. *Direct Numerical Control*) у систем управљања, и
- привременом одлагању делова у приручном складишту.

Посебну проблематику чини:

- избор адекватних компоненти система,
- мали број фирми који се бави овим истраживањима, и
- могућност отворених програмских кодова.

2.1.7 Симулациони софтвери у *FMS*-у

Симулацију процеса дидактичких *FMS/FMC* могуће је анализирати парцијално:

- као симулација рада компонената и
- симулацију модела управљања система.

Симулације рада компонената, још од почетних конструктивних решења, сводила се на проверу исправности написаног програма. Реализација симулације код *CNC* машина првобитно се сводила на цртање путање алата, помоћу писача постављеним на носаче алата (*CNC* стругови) или вретено машине (*CNC* глодалице). Развојем рачунарских ресурса симулација процеса резања код *CNC* машина постаје саставни део управљачке јединице или екстерног софтвера. Тако је за архитектуру приказану на слици 2.1 развијен независни систем симулације и аутоматског програмирања *APCAM*. Флексибилна ћелија приказана на слици 2.2 има имплементирану симулацију процеса резања унутар самог управљања *CNC* машина. Код овог система, као додатна екстерна опција при куповини, може се срести и симулација рада робота у дизајнираном окружењу *FMC (RoboCell)*. Ова симулација може бити изводљива паралелно са роботским кретањем (*on-line*) или само на екрану рачунара (*off-line*). Како се компоненте *DFMC* развијају паралелно са рачунарским ресурсима тако се и нови симулациони процеси могу срести у новијим конструкцијама ћелијама (нпр. *OpenCIM. Intelitek Inc*)

Као репрезент симулације модела флексибилног обрадног система, је архитектура представљена на слици 2.4 (*Slota, A. & Malopolski, W., 2007*). Производи се могу обрађивати у *FMS/FMC* према алтернативним правцима. Током симулације *FMS/FMC*, може проћи кроз промену производње присуством различитих обрадака и њихових

варијанти, као и варирањем производних капацитета. Неочекивани догађаји могу да поремете процес; машине могу постати привремено недоступне због квара, а и нове машине могу да се додају да би заменили недоступне или прошириле могућност система. Такви догађаји, са становишта симулације, називају се поремећаји, а могу значајно утицати на ефикасност система. Када се поремећај јавља њен утицај треба проценити, и ако је потребно, нова правила управљања треба да буду анализирана и симулирана, тј. уграђена у реални систем пре настале промене. Због сложене структуре и динамичког карактера стварних производних система начин на који флексибилни систем ради се често анализира уз примену техника симулације. Иако симулација не даје потпуни увид у рад система, корисна је за проверу понашања система под различитим условима. Симулације се користе у области дизајна *FMS/FMC*, реконфигурације и процене учинка.

Симулацију карактерише извршење виртуелног процеса ком одговара рад реалног система под одређеним условима. Процеса Подаци кључни за анализу флексибилне операције су укључени у модел који се обрађује током симулације. Време потребно за покретање рачунара за симулацију зависи од сложености модела, ефикасности софтвера за симулацију и рачунарског хардвера. Тако перформансе различитих стратегија за управљање, узимајући у обзир рад рачунара, стање система (варирање: обима производње и нивоа поремећаја), могу се брзо истражити да би се пронашла ефикасна тј. прихватљива метода. Напреднији симулациони пакети имају уграђене механизме за интеграцију са спољним апликацијама, које се могу користити за комуникацију између софтвера за симулацију и локалних контролера *FMS*.

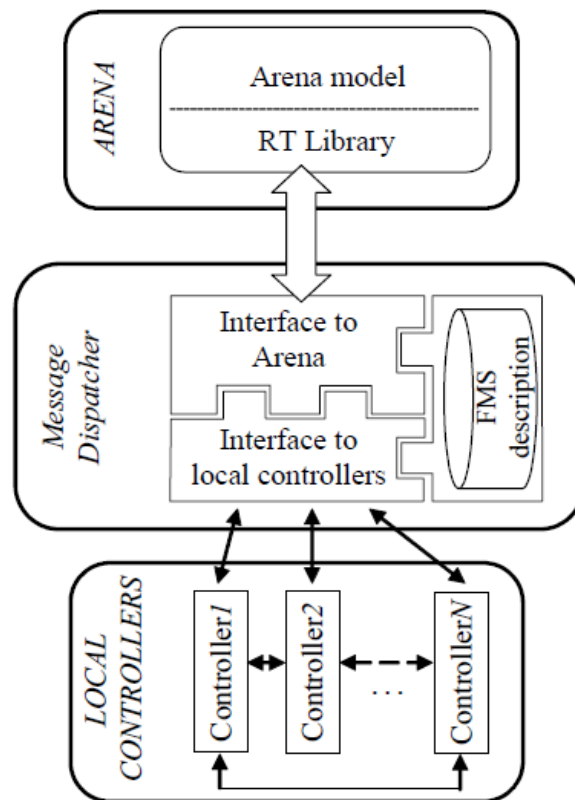
Аутори (*Slota, A. & Malopolski, W., 2007*) су се определили за *Arena* симулациони софтверски алат за моделирање и симулацију дискретних система. У раду су приказане карактеристике софтвера. Аутори наводе да он пружа интуитивно окружење за креирање модела, и да се модел састоји од две врсте модула; дијаграм модула и модула података. Везе између тих модула описују логику процеса и дефинисање ентитета као и проток између модула. Модули података приказани су у облику табеле. Они се користе како би се допунио модел са квантитативним подацима битним за симулацију као што су: времена процеса, времена транспорта, захтевани ресурс или распоред (заказивање) процеса.

Једна од могућности рада софтвера *Arena* је симулације модела у реалном времену (*RT*; енг. *Real Time*) тј. рад у режиму извршавања. У том случају *Arena* координира обраду модела са реалним процесима, разменом порука са спољашњим уређајима/апликацијама. Ова функција може се користити за праћење и контролу реалних система, што је и презентирано у наведеном примеру *FMS*-а, и шематски приказано на слици 2.3. Подаци и формат порука дефинишу се помоћу *TASKS* елемената. Ако поруку треба послати спољашњем процесу мора се унети израз који дефинише *TASKSID* (*Value, TasksID*) где се *Value* дефинише трајањем или брзином циљне симулационе намере и у виду конкретног задатка (*TASKSID*) које прате подаци о чвориштима и *TasksID* тачке *TASKS*.

Arena може слати поруке када ентитет уђе у следеће модуле: *TRANSPORT, PROCESS, ENTER, LEAVE, DELAY, ROUTE* и *MOVE*. Да би одговорио на поруке софтвера *Arena* спољни процес користи *TGID* дефинисан у елементу *TASKS*.

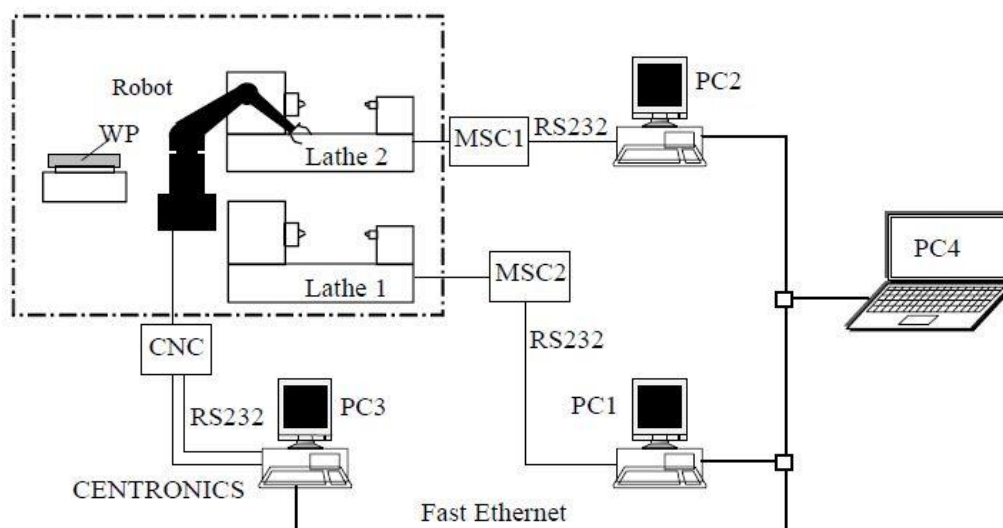
Да би се интегрисао симулациони софтвер уводи се трострука веза интерфејса локалних контролера *FMS* са интерфејсом софтвера *Arena*, и веза са *FMS description* делом, а све у оквиру рачунарског програма *Message Dispatcher*. *Message Dispatcher* извршава следеће задатке:

- прима команде извршења активности из *Arena*, преводи их у формат прописан од стране локалних контролера и шаље их локалним контролерима који су одговорни за извршење активности, и
- прима поруке, потврђује извршење активности из локалних контролера, преводи их у формат прописаном од стране софтвера *Arena* и шаље их назад у *Arena* софтвер.



Слика 2.3 Структура софтвера *Arena* за контролу *FMS* (преузето из *Slota, A. & Malopolski, W., 2007*)

Подаци неопходни за превођење и пренос порука између *Arena* и локалних контролера чувају се у опису модула *FMS* (*FMS description*). Пошто локални контролери *FMS* (*CNC, PLC, PC* базични контролери) могу захтевати различите протоколе комуникације и формат података за размену информација са другим апликацијама, имплементација интерфејса до локалних контролера решена је путем модула *Message Dispatcher*.



Слика 2.4 Архитектура EMCO лабораторије (преузето из *Slota, A. & Malopolski, W., 2007*)

Аутори (*Slota, A. & Malopolski, W., 2007*) дају научни допринос кроз примену *Arena* софтвера за симулацију управљања FMS-ом за образовни производни систем *Emco* у лабораторији Института за производно инжењерство Универзитета технологије у Кракову (Пољска). Систем се састоји од два струга *Emco COMPACT 5PC* и робота *MITSUBISHI* који транспортује радне предмете између малог складишта и машина. Изглед и управљачка структура система приказани су на слици 2.4.

Главни делови локалних контролера, узимајући у обзир комуникацију, су софтверски интерфејси контролера који раде на рачунарима PC1, PC2 и PC3. За комуникацију користе технологију *Distributed Component Object Model (DCOM)* међусобно и са контролером вишег нивоа. *Message Dispatcher* ради на PC1 и комуницира са овим софтверским интерфејсима локалних контролера. *Арена* ради на PC4.

Аутори у свом закључном делу истичу да је изградња FMS софтвера за управљање тежак, дуготрајан и процес склон грешкама. Такође истичу да је симулација основна техника за анализу и верификацију система управљања. Свакако посматрајући оваква решења може се закључити да је симулација свеобухватног процеса значајна за посматрање и анализу карактеристика система.

2.2 RFID – Радио фреквентна идентификација

RFID (*Radio Frequency Identification*) - Радио фреквентна идентификација - је технологија која користи радио таласе за аутоматску идентификацију појединих објеката, односно за размену података између читача или пријемника (*reader, transiver*) и транспондера (енг. *transmitter/responder, tag*). RFID уређај (читач, односно терминал за прикупљање информација) користи радио трансмисију за слање енергије транспондеру (RFID Tag) који онда емитује повратну информацију: јединствени идентификациони код и/или низ података, раније смештени у самом транспондеру (*Wikipedia, RFID*). Транспондер или једноставно таг садржи микрочип и антену. Одашиљањем радио-таласа, подаци с микрочипа путем читача преусмеравају се у

рачунар. У флексибилној производњи транспондер се обично налази залепљен на производу за делове мањег габарита који се транспортују индивидуално. Кад обрадак у производном процесу путује са носачем производа (палетом), тада се обично транспондер лепи за носач. *RFID* технологија се претежно користи за идентификацију делова које треба транспортовати, и/или у самом процесу или ван њега, складиштити, привремено или трајно, или периодично евидентирати, што сам систем доводи у категорију електронског паметног складиштења - (енг. *smart packaging*).

Технологија радио фреквентне идентификације (*RFID*) спада у категорију система која може потенцијално дати ефикасно унапређење управљања флексибилном систему. Из тих разлога дају се основе *RFID*.

2.2.1 Комуникација између читача и транспондера

Укључивањем читача започиње емитовање сигнала одређене фреквенције. Одговарајући транспондер у фреквентном пољу читача детектује сигнал, користи добијену енергију да би побудио микрочип. Декодиран сигнал са тага који, одговара читачу иницира своју присутност у пољу читача.

Транспондери се међусобно разликују према: начину напајања, способности чувања података, начину програмирања, радној фреквенцији, удаљености од читача, физиком облику и цени.

Сама реч транспондер је изведена од речи *TRANSMITTER/resPONDER*, према намени самог уређаја који на трансмисију чита и одговара траженим податком. Транспондери могу имати облик налепница, етикета или плочица при чему се *RF* завојница налази на папиру или фолији заједно с меморијским микрочипом.

Разликом транспондера по протоколу се сматра закључавање, шифрирање података тако и алгоритми против међусобних сударања информација.

RFID транспондер садржи одређену величину меморије (*EEPROM*), који је по свом карактеру: електрично избрисив, програмибилан, исписив на меморијском носачу, а садржајно је то носилац меморисаних података о производу или процесу.

RFID транспондер може бити довољно мали да се смести на погодна места производа (обратка), може бити посебног облика (нпр. вијка, чивија) и скривен у производу (нпр. у детаљу конструкције) или у облику кредитне картице/налепнице за коришћење у апликацијама контроле приступа.

2.2.2 Функционисање *RFID* система

Транспондер се активира при проласку кроз радио фреквентно подручје које је генерисано уз помоћ антене и читача. Транспондер затим одашиље програмирани одговор у облику тражених информација. Антена која је повезана са читачем и која ствара радио фреквентно поље детектује одговор. Читач затим шаље у рачунар податке које садржи микрочип.

2.2.3 Антиколизија

Постоји још једна битна карактеристика *RFID* система, а то је антиколизија (енг. *Anti-Collision*) систем против сударања, интерференције података чиме се омогућава читавање скупа тагова у једном читачком пољу спречавајући мешање радио-таласа једног с другим. Такође се спречава читавање истих тагова више пута. На селектованом тагу, читач је у могућности извести низ операција као што су читање серијског броја или при употреби *read/write* тага запис додатних/нових података. Након завршетка комуникације с тагом, читач га може или уклонити с листе или га ставити на *stand-by* за одређено време. Процес се наставља извршавати под антиколизионим алгоритмом све док сви тагови не буду селектовани и проверени.

Ова карактеристика није омогућена на свим *RFID* таговима, али је веома значајна ако је намена коришћења при свакодневној инвентури, транспорту где се у исто време врши читавање више различитих тагова одједном.

2.2.4 Антена тага

Антена тага (слика 2.5) је задужена за слање и примање података са читача, као и за спровођење енергије од читача до тага. Такође ова антена је физички уграђена у микрочип и то углавном у центру тага. Анализом могућих конструктивних решења утврђен је и другачији распоред антена у таговима. Дужина антене је директно пропорционална са таласном дужином.

Разликују се три типа антена:

- диполна антена (линеарна поларизација) - Електромагнетни талас се шири у целости у једној равни (вертикалној или водоравној) у правцу ширења сигнала. Ово је најбоље ширење таласа када је оријентација тагова позната и фиксирана. *RFID* антена и *RFID* таг треба да се подудару у поларизацији да би се постигле најбоље брзине читања.
- укрштена дипол антена (кружна поларизација) - Електромагнетни талас се шири у две равни, стварајући кружни ефекат чинећи једну потпуну револуцију у једној таласној дужини временског оквира. Будући да *RFID* антена континуирано емитује таласну дужину, ротационо поље ће на крају покрити било који таг која му се налази на путу. Овакву антену је најбоље користити када је оријентација тага непозната
- савијена дипол антена (*folded dipole*) - Ова антена је састављена од два или више паралелно везаних проводника чија је дужина половина таласне дужине. Када су обухваћена два проводника ова антена се назива двојична савијена антена, када су обухваћена три проводника назива се тројична итд.

Моностатичка антена је најчешћа *RFID* антена и користи један заједнички улаз за пренос и пријем сигнала. Вишестатичка антена користи две *RFID* антене у истом физичком кућишту и користи један порт за пренос, а други порт за пријем.



Слика 2.5 RFID архитектура

2.2.5 Читач

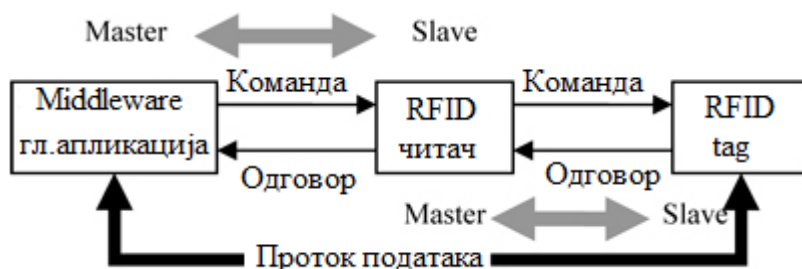
Читач (енг. *Interrogation*) има задатак комуникације са транспондерима и преносом података даље до рачунара. Ови уређаји се међусобно разликују по сложености зависно од типа тага с којима имају комуникацију. Такође се разликују и по функцијама које морају задовољити. Провера и исправљање грешака такође може бити функција читача. Кад је сигнал транспондера (тага) примљен и декодиран, према одговору на команду (енг. *Command Response*) протокола, читач ће тада на поновљено слање сигнала одговорити инструкцијом транспондеру да престане емитовање.

Читачи имају следеће карактеристике: радна фреквенција (*HF* или *UF*), подршка за разне протоколе тагова (*ISO*, *EPC*¹), различите регулативе светских регија, могућност умрежавања више читача, могућност управљања вишеструким антенама итд.

Читач и таг су у односу „*master*” и „*slave*” где читач делује као „*master*”, а таг као „*slave*”. Софтверска апликација, која се назива „*Middleware*”, обрађује податке из *RFID* читача, делује као главна јединица и шаље наредбе читачу. То значи да се све активности читача и тага покрећу апликативним софтвером. У хијерархијској системској структури апликативни софтвер (попут пословног софтвера) представља мастер за читач. Читач као подређени за *Middleware* главну апликацију, активира се само кад прими наредбу из апликативног софтвера, и самим тим, читач обавља операције читања или писања *RFID*

¹ Electronic Product Code –универзални јединствени идентификациони код производа

тага који се налазе у његовом подручју испитивања. На слици 2.6 је приказан однос *master - slave*.



Слика 2.6 „*Master&Slave*” – однос читача и тага (преузето са https://www.microwavejournal.com/legacy_assets/images/4830_Fig_02.jpg и адаптирано 12.03.2021)

Већина читача ради на напајању од 5-9 V, користи RS 232 / 422/ 485 комуникацијски интерфејс. Неки читачи имају уграђене *WLAN* и *Bluetooth* протоколе, неки омогућавају потпуну дуплексну (*FDX*²) или полудуплексну (*HDX*³) комуникацију.

2.2.6 Антене читача

Антене читача су најкомпликованији део *RFID*-а када је у питању дизајнирање антене. За краћи фреквенцијски домет (мање од 10 cm) антене су интегрисане у читачу, а за дужи домет нпр. од 3 до 5 m, антене су углавном екстерне те су везане на некој удаљености од читача.

Према (*G.Mirkov, Z. Bakić & R. Žunjanin, 2017*) антене читача могу радити континуално или на захтев. Континуално ће радити у случају када су „тагирани” производи присутни свакодневно или кад вишеструки транспондери пролазе кроз детекционо подручје. На захтев ће радити када је потребно, нпр. када неки сензори то захтевају могу се активирати оптички, притиском или неком другом врстом непосредних сензора. На слици 2.5 приказана је *RFID* архитектура са дипол антенном.

2.2.7 Фреквенције *RFID* уређаја

Постоје:

- *нискофреквентни (LF) RFID* уређаји који раде на фреквенцији 125-134 kHz, са дометом читања мањом од 0,5 m (код *LF* опсег фреквенција је испод 300 Hz),
- *високофреквентни (HF) RFID* уређаји чија је типична фреквенција 13,56 MHz, са читањем до 1m (код *HF* опсег високих фреквенција износи од 3 MHz до 30 MHz),

² Потпуни дуплекс је врста комуникације у којој подаци могу тећи напред-натраг између два уређаја, истовремено.

³ Полу-дуплекс је врста комуникације у којој подаци могу тећи напред-натраг између два уређаја, али не истовремено.

- *ултра високофреквентни (UHF) RFID* уређаје карактерише пасиван и активан рад. 868MHz (стандард у Европи), односно 915 MHz (стандард у US) је типична фреквенција за пасивне *RFID* уређаје, док је за активне уређаје предвиђена фреквенција 433 MHz, тј. 315 MHz. (*UHF* опсег је изнад 300 MHz, 850-950 MHz), и
- *микроталасни RFID* уређаји раде на фреквенцији 2,45 GHz или 5,8 GHz, са могућношћу читања од 4 до 5 m (фреквенција изнад 1 GHz).

У пракси коришћење уређаја различитих фреквенција значи могућност читавања на већој или мањој удаљености.

Нискофреквентни (*LF*) уређаји релативно споро преносе податке и често нису у могућности прочитати више тагова одједном. Примењују се углавном за имобилизацију транспорта и контролу приступа. Транспондери ниске фреквенције троше мање енергије и имају већу способност емитовања сигнала кроз разне материјале, на релативно мале удаљености.

Високофреквентни (*HF*) уређаји се највише и најчешће употребљавају, јефтинији су од нискофреквентних. Користе се код контроле приступа, контроле терета, плаћања, у транспорту, итд.

Ултра високи фреквентни транспондери (*UHF*) имају већи домет и бржи проток података, уз већу потрошњу енергије и слабију трансмисију кроз материјале. Због тих својстава, погоднији су за скенирање транспортних паковања на улазу или излазу из складишта. Код *UHF* транспондера не сме бити препреке између читача и транспондера. Већа фреквенција значи бржи пренос података што је изразито битно код прелажења транспондера великом брзином кроз зону читавања.

Свака држава управља подручјима фреквенција у складу с регулативом трију постојећих подручја: Европа и Африка представљају подручје 1, Северна и Јужна Америка подручје 2, а Аустралија и Азија подручје 3. Нека фреквентна подручја рада су забрањена у појединим државама нпр. као што је Кина (*UHF* забрањен), док је у Јапану ограничена употреба за исто подручје (користи се само 950- 956MHz у експерименталне сврхе). Постоји иницијатива за постизање одређеног степена сагласности у погледу коришћења фреквентних подручја, али их је тренутно за примену *RFID* технологије врло мало доступно на глобалном нивоу.

2.2.8 Активни транспондери, семи-пасивни и пасивни транспондери

Активни транспондери се напајају путем интерне батерије, а пасивни путем индукције. Активни транспондери могу одашиљати сигнал на прилично велике удаљености чак до неколико километара.

Пасивни тагови се напајају путем читача који одашиље радио сигнал мале снаге путем властите антене. Транспондер затим прима сигнал путем своје антене те напада микрочип користећи енергију коју прими и на кратко се повезује са читачем ради

веродостојности и измене података. Код пасивних тагова је век трајања готово неограничен док је за радни век активних зависан од трајања батерије.

Семи-пасивни транспондер има батерију којом напаја чип, али за комуникацију користи енергију читача.

2.2.9 Записивање и читање тага / транспондера

Према промени записа на транспондеру разликују се следеће врсте:

- *Read only (R)* – класа, је најједноставнији облик *RFID*-а где се подаци као што је серијски број производа записују, и не могу се више ажурирати, већ могу се само читати.
- *Write once, read many (WORM)* - класа 1, је облик *RFID*-а код ког се тагови производе без икаквих података тако да корисник може унети податке само једном чиме таг постаје *Read-only*. Практично значи да такав таг је од тог тренутка предвиђен само за читање.
- *Read / Write (R/W)* је напреднији облик *RFID*-а који има могућност да корисник по потреби мења колико год пута жели садржај самога записа.

2.2.10 *EAS* тагови

*EAS*⁴ тагови не садрже посебне информације већ првенствено служе за потребе безбедности производа, односно осигуравају производ од крађе. Они суштински и нису *RFID* тагови јер у стварности садрже само делове информације. *EAS* тагови немају јединствени серијски број већ само приказују присутност када пролазе кроз сигнално фреквентно поље.

2.2.11 Штампана електроника или *Printed electronics*

Проводљиви и савитљиви елементи који се користе за штампање антена су материјали који у основи садрже сребро и угљеник. Спој угљеника и сребра у одговарајућем опсегу, уз примесе смоле и осталих додатака чини добру проводљивост са добрим штампарским карактеристикама. За штампању антену може се користити и бакар као пигмент са електропроводним карактеристикама, међутим антене од сребра подносе савијања и остале механичке утицаје боље од бакарних антена. Поврх тога, сребро је бољи проводник од бакра.

Printed electronics или штампана електроника је скуп графичких метода који се користе за стварање електрично функционалних уређаја, у овом случају антена за *RFID* технологију. Штампана подлога може бити папир, али због релативно храпаве површине и зависности од влаге доминантну улогу преузимају други полимерни материјали. Користе се штампане технике које омогућавају дебљи нанос боје као што је сито-штампа, па ипак могуће је штампати антене и у техникама флексо-штампе, гравирања,

⁴ Electronic Article Surveillance енг.

offset-штампе и *ink jeta*. Металне боје имају ограничену проводљивост те дебљи слој осушене боје значи бољу проводљивост, односно већи учинак антене.

2.2.12 Процес нагризања⁵ антена

Поступак штампања спроводи се тако да се танка бакрена или алуминијска фолија ламинира на подлогу и хемијским средствима (обично киселинама) нагриза се облик дизајнираног узорка антене. Коришћењем нагризања као методе израде антене треба пазити да подлога буде инертна на хемијско средство којом се врши нагризање.

2.2.13 Стандарди

Генерално, *RFID* користи радио таласе у фреквентном опсегу од 30 kHz до 5.8 GHz. За сада не постоје глобални јавни стандарди који покривају, односно који су фреквентни опсежи дозвољени за примену *RFID* фреквенција. Без обзира на прописе, без лиценце се може јавно користити *RFID* технологија на ниским фреквенцијама (*LF*: 125 - 134.2 kHz и 140 - 148.5 kHz) и на високим фреквенцијама (*HF*: 13.56 MHz). Код ултра кратких таласа (*UHF*), је велико шаренило у Северној Америци (*G.Mirkov, Z. Bakić & R. Žunjanin. 2017*).

Поред националних стандарда, користе се за *RFID* технологију и други стандарди, али основу чини стандард *ISO / IEC 14443* (*Wikipedia, ISO/IEC*) чије карактеристике су дате у табели 2.1.

Табела 2.1 Стандард *ISO / IEC 14443* (преузето из рада *G.Mirkov, Z. Bakić & R. Žunjanin, 2017*)

| Стандард | Дефинисаност примене | Опис |
|--------------------------|---|---|
| <i>ISO / IEC 14443</i> | | Међународни четворорелни стандард за бесконтактних смарт картица ради на 13.56 MHz у непосредној близини са читачем антеном. <i>Proximity Integrated Circuit Cards (PICC)</i> су намењени за рад у приближно 10 cm антене читача. |
| <i>ISO / IEC 14443-1</i> | Физичке карактеристике | Дефинише основне еколошке карактеристике које картица мора бити у стању да издржи, испуни без трајног оштећења функционалности. Ови тестови се спроводе на нивоу картице и зависе од конструкције картице и дизајна антене; већина услова не може се лако превести на ниво примене. Оперативни температурни опсег картице наведен у делу 1 као температурног опсега од 0°C до 50°C. |
| <i>ISO / IEC 14443-2</i> | Радио фреквенција снага и интерфејс сигнала | Дефинише <i>RF</i> снагу и сигнал интерфејса. Две сигналне шеме (типа), тип А и тип В, су дефинисани у овом делу стандарда. Обе шеме комуникацију остварују у полу дуплексу са 106 kbit у секунди брзине преноса података у сваком правцу. Подаци се преносе преко тага оптерећење модулисане са 847.5 kHz (носећег сигнала) subcarrier-а. Транспондер се напаја из области <i>RF</i> и није потребно батерија. |

⁵ Нагризање или јеткање је процес код ког се помоћу јаке киселине уклањају одређене незаштићене површине металне плоче, како би се добиле испупчене или удубљене површине делова. Ова се техника сматра једном од графичких техника дубоке штампе. За разлику од гравирања, овде се метал не уклања механичким путем резањем, већ хемијским путем неком киселом или алкалним хемијским раствором. Технолошки савременија варијанта процеса је фотонагризање, које се такође користе у уметничкој обради метала. Данас му је главна примена израда штампаних плочица за електронску индустрију.

| | | |
|--|--|--|
| ISO / IEC 14443-3 | Иницијализација и антиколизија за тип А и тип В | Антиколизионе команде, одговори, оквири података и времена су дефинисани у овом делу. Иницијалне и антиколизионе шеме су креиране тако да омогућавају креирање (у конструктивном смислу), мулти-протоколари читачи (<i>readers</i>) су способни за комуникацију са оба типа картица (А и В). Обе врсте транспондера чекају на команду избора. Читач више протокола би обрадио (комплетно прочитао, узео у рад) једну врсту транспондера, завршио све трансакције (улазе/излазе) са тим транспондером, а затим би прешао на другу врсту и потом извршио све трансакције са њом. |
| ISO / IEC 14443-4 | Дефинише протоколе за пренос података на високом нивоу за тип А и тип В. | Протоколи описани у овом делу су опциони елементи ISO/IEC 14443 стандарда; близина картице може бити дизајнирана са или без подршке овог дела протокола. PICC извештава читач да он подржава команде овог дела стандарда у одговору на избор команде (исто као што је дефинисано у делу стандарда ISO/IEC 14443-3). |
| <p>Напомена:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Картице могу бити типа А и типа В. Главне разлике између ових (тип А и тип В) типова тичу се методе модулације, кодирања шема и процедуре протокола иницијализације (део стандарда 3). Оба типа (А и В) картице користе исти протокол преноса. - Овај стандард користи скраћенице као термине: <ul style="list-style-type: none"> • <i>PCD</i>: завојна антена на страни читача • <i>PICC</i>: завојна антена на страни транспондера - У овом делу нису изложене сличности које се односе на контактне системе, а позиване су овим стандардом. | | |

2.2.14 Значај и примена *RFID* технологије у флексибилној производњи

Једна од значајнијих примена *RFID* у флексибилној производњи је идентификација и праћене делова у системима управљања транспортом. Постојећи системи управљања транспортом имају слабији динамички одзив система, посебно у случајевима када су делови мањег габарита, велике конфигурационе разноликости или мале учесталости појављивања. Увођењем *RFID* технологије у управљања *FMC*-а могуће је систем децентрализовати и прилагодити управљање новим условима.

У својој најједноставнијој примени *RFID* технологија може да замени бар-код са веома великом поузданошћу у односу на наведени. *RFID* у индустрији се фаворизује посебно у условима производње чији су уређаји потопљени у течност, изложени повишеној температури, прљавштини и праштини. У прилог овој технологији иду и чињенице да се они не морају наћи у видном пољу читача односно да се једним читањем може истовремено прочитати више различитих типова тагова.

3 ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ-*RFID FMS*

RFID технологија је широко примењена у различитим областима логистике, ланца снабдевања, складиштења, малопродаје и транспорта. У флексибилним производним системима, примена RFID технологије је још у развојној фази. Процес примене RFID технологије у производним системима омогућава добијање информација у реалном времену о деловима који су укључени у систем. Ове информације је могуће искористити да би се побољшала ефикасност производње и смањили трошкови исте. Такође, подаци за производњу неке компоненте, као што су процесне операције, квалитет и време, могу се записати на RFID тагу, повезати га са компонентом што систем децентрализује, ослобађа рачунарске ресурсе, а сам производни процес добија на агилности. Вишеструка и различита истраживања урађена су у циљу имплементације и коришћења RFID технологије за производне системе, односно флексибилне производне системе. Тако, при анализи, неопходно је направити јасну дистинкцију у примени RFID технологије на праћења производа који су присутни у систему и на модел управљања заснован на истој технологији. Како су истраживачи имали различите приступе примене RFID то ће се, на даље, у овом поглављу извршити класификација на научне радове који дају предност праћењу производа у производном систему и на научне радове који доминантно презентују достигнућа везана за моделе управљања. Даља класификација и анализа иде ка независном разматрању транспортних проблема и разматрању технолошких захтева у производном процесу применом технологије RFID.

3.1 Примери праћења производног процеса применом *RFID* технологије

M.L. Wang, и сарадници у свом раду, доносе поуке које се могу генерализовати не само за мала и средња производна предузећа која имају захтеве за производњом делова за алате чији су захтеви јединствени, већ се и одређени закључци могу применити, првенствено у праћењу производа, код флексибилних система. У раду се дефинише проблем који је карактеристичан за производна предузећа чији се делови само једанпут (*OKP*⁶) производе (*M.L. Wang et al.*, 2012).

⁶ ОКП - One-of-a-Kind-Production, енг.

Проблем предузећа *Guangdong Greatoo Molds Inc.* је: праћења производње, производна динамичност, као и уобичајеност примене папирне документације карактеристичне за ову врсту производње, а она се у конкретном случају односи на производњу и монтажу алата (калупи за радијално ливење гуме). Наводе се тешкоће везане за: кретање документације (неки пут и оштећења исте), магацинско пословање, проблеми у монтажи алата што се не може благовремено открити. Такође, аутори наводе и последицу у кашњењу испорука производа крајњим корисницима.

Посебан акценат у наведеном раду је квалитет производа, који пре увођења промена у управљању, није био задовољавајућег квалитета. У таквим случајевима поремећаја, не постоји начин да планери предузму ефикасне и адаптивне мере, што је и разлог новом приступу праћења и управљања производњом. Анализу пре увођења *RFID*, аутори, акцентирају решавањем специфичних технолошки захтева за *ОКР* производњу која поред стандардних, опште познатих процедура, је подложна честим променама у радионици (погону) као што су процедура реинжењеринга, механичких оштећења производа, питања квалитета производа, варијабилности захтева купаца и сл.

Према наведеном, на ефикасност налога утиче учесталост појаве уских грла производње, а односи се на три аспекта. Први, јединственост послова са посебним захтевима која ограничава техничку службу да адекватно пропише времена потребних за специфични захват/операцију, што има за последицу нејасне техничке процедуре.

Друго, без ефикасне дистрибуције и прихватања података не може се остварити сврсисходно лансирање производње. Наиме, снимљена ситуација, базирана на дотадашњим искуственим запажањима (подацима), указује да кружење папирне документације, од једног радног места до другог, је непотребно.

Треће, тренутна техничка процедура је заправо папирна форма причвршћена за компоненту која се ручно уручује од једне радне ћелије до друге. У случају прилагођавања постојећег поступка, нпр. за прерасподелу посла, потребно је да се прикупи и пријави тренутни статус опреме, што је оптерећујући и дуготрајан временски процес.

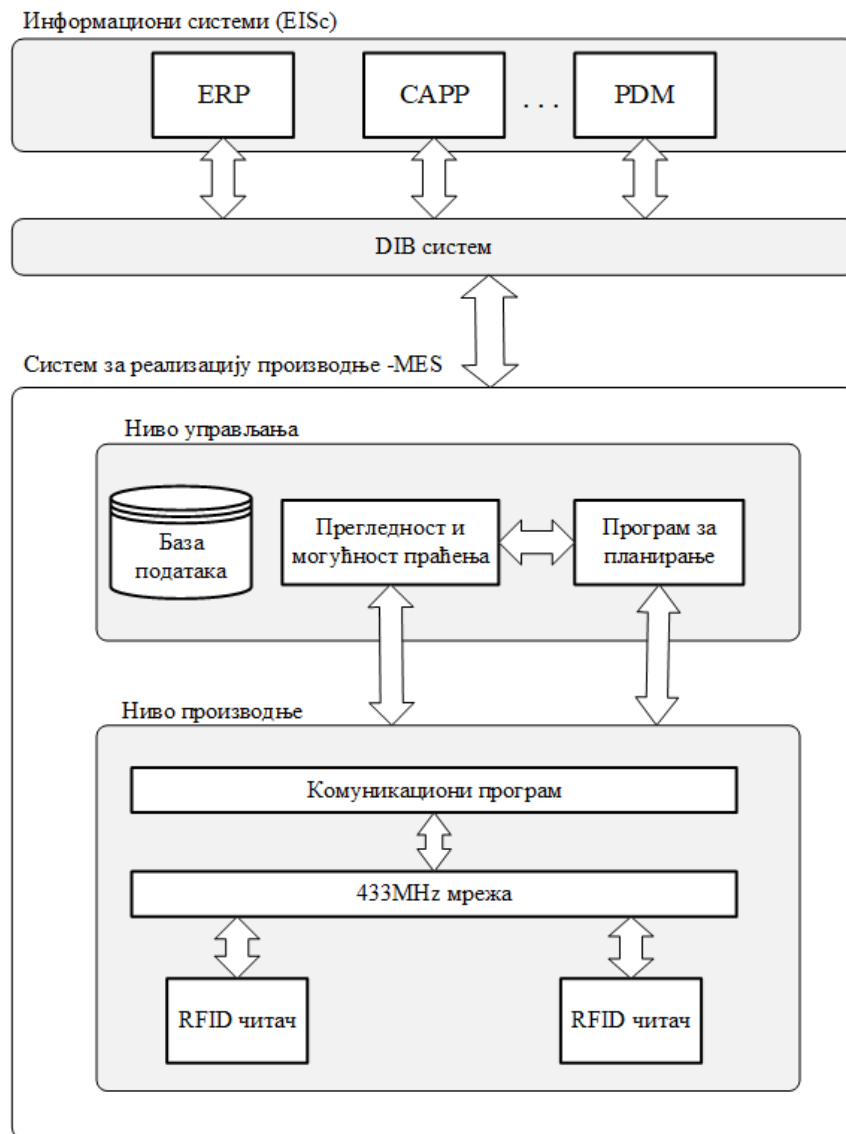
Анализира се хипотетичка појава повећања захтева купаца у случајевима: повећаног обима производње, повећане сложености алата који намеће и сложеност конструкција, као и одговор предузећа на захтеве квалитета и др. Укратко описано представља разлог увођења *RFID* технологије у процес производње и приступ озбиљној анализи примене исте на овај и овакав тип производње.

Систем архитектуре приказан на слици 3.1, наводи се као систем за реализацију производње - *MES*⁷ који примењује *RFID* технологију. Овај систем, наведен у самом раду, подељен је на управљачи и извршни (производни) ниво. Управљачки ниво је подељен на део који дефинише прегледност и могућност праћења (*VTP*⁸) и програмско планирање. Програми *VTP* распоређени у рачунарима смештеним у просторијама за управљање производњом и у радионицама помажу при праћењу токова производње дајући визуелну слику истог. Извршни ниво *MES* смештен је на серверу и одговоран је за распоређивање по ресурсима и планирању производње. Производни ниво у основи садржи *RFID* читаче, за које се уводи појам (назив) интелигентни терминал података

⁷ *MES*- Manufacturing execution system

⁸ *VTP* - Visibility and Traceability Programme

(IDT⁹). Комуникациони програми постављени су на машинама код којих је улога производних оператера да у интеракцији са опремом прикупљају податке и задатке у реалном времену. Комуникациони програм је одговоран за комуникацију између нивоа радионице и нивоа управљања.

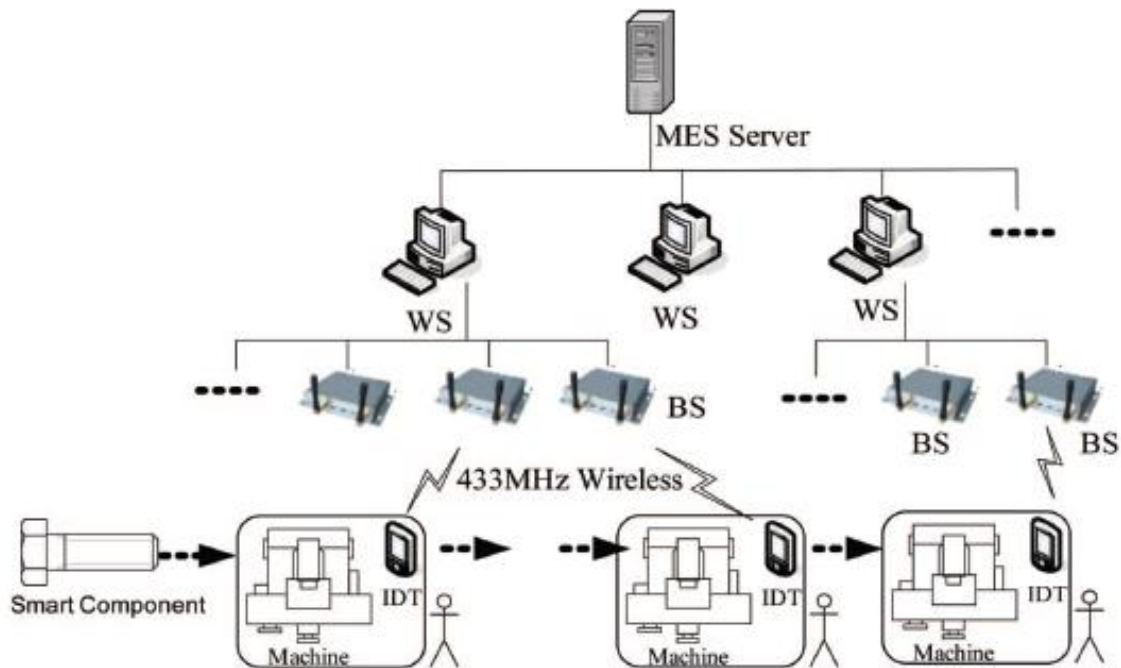


Слика 3.1 Систем архитектура (адаптирано из *M.L. Wang et al.*, 2012)

Хардверска структура система приказана је на слици 3.2, а чине је више IDT, базне станице (BS), радионичке (рачунарске) станице (WS), које су умрежене са MES сервером на уобичајен начин (кабловски, UTP, PC картица). Машине у радионицама су опремљене са уређајима типа IDT повезана са BS путем 433 MHz wireless комуникационе мреже. BS као gateway рутер комуницира са станицама типа IDT и прикупља податке из погона у реалном времену. BS преводи ове податке у „смислене” (погодне управљању) и преноси их преко станица WS до нивоа управљања. Ове информације ће бити враћени WS у реалном времену, и корисне су за управљање, контролу извршења налога за производњу, и на даље транспоноване се враћају у MES серверу да би се олакшало управљање извршења на вишем, тј. високом нивоу, као што су управљање опремом, управљање

⁹ IDT- Intelligent Data Terminal

производњом, управљање материјалима, управљање квалитетом или другим релативним функције као што су *EISc*¹⁰, као што су *ERP*¹¹, *CAPP* и *PDM*¹² итд.



Слика 3.2 Хардверска конфигурација (преузето из *M.L. Wang et al.*, 2012)

Главни послови у припреми пројекта су: успостављање детаљног временског распореда, припрема потребних развојних докумената, и пренос података са других система. Неке критичне временске тачке су дефинисане као прекретница у напретку пројекта, као што су обавезне анализе, архитектура дизајна, систем реализације, *online* тестирање и сл. Припрема развојних докумената подељена је у две категорије: једну чини техничка документација, укључујући и пројекат распореда документа, анализе документа, систем развоја документа, систем за поновну дислокацију документа, систем за тестирање документа, прихватање правила провере и слична; друга је документација за крајње кориснике, која укључује упутство за употребу, план обуке корисника, радне прописе, повратне информације од корисника и др. Интерфејс подаци су потребни када MES размењује податке са другим системима као што су *ERP* и *PDM*. Кључне информације се размењују са форматима дефинисаних на основу *ISA-95* стандарда и преноси путем *DIB* система.

MES мора имати значајан број података, а основне податке треба припремити, укључујући:

- структуру одељења и списак радника радионице припремајући људске ресурсе (*HR*) одељења са *ERP*, а затим их синхронизовати га са *MES*,
- списак опреме меморисати у *ERP* које ће се преузимати на *MES*. Инспекцијске ставке различите опреме дефинисане су у одељењима опреме и преносиви су на *MES*,

¹⁰ EISc – Enterprise Information Systems

¹¹ ERP - Enterprise resources planning

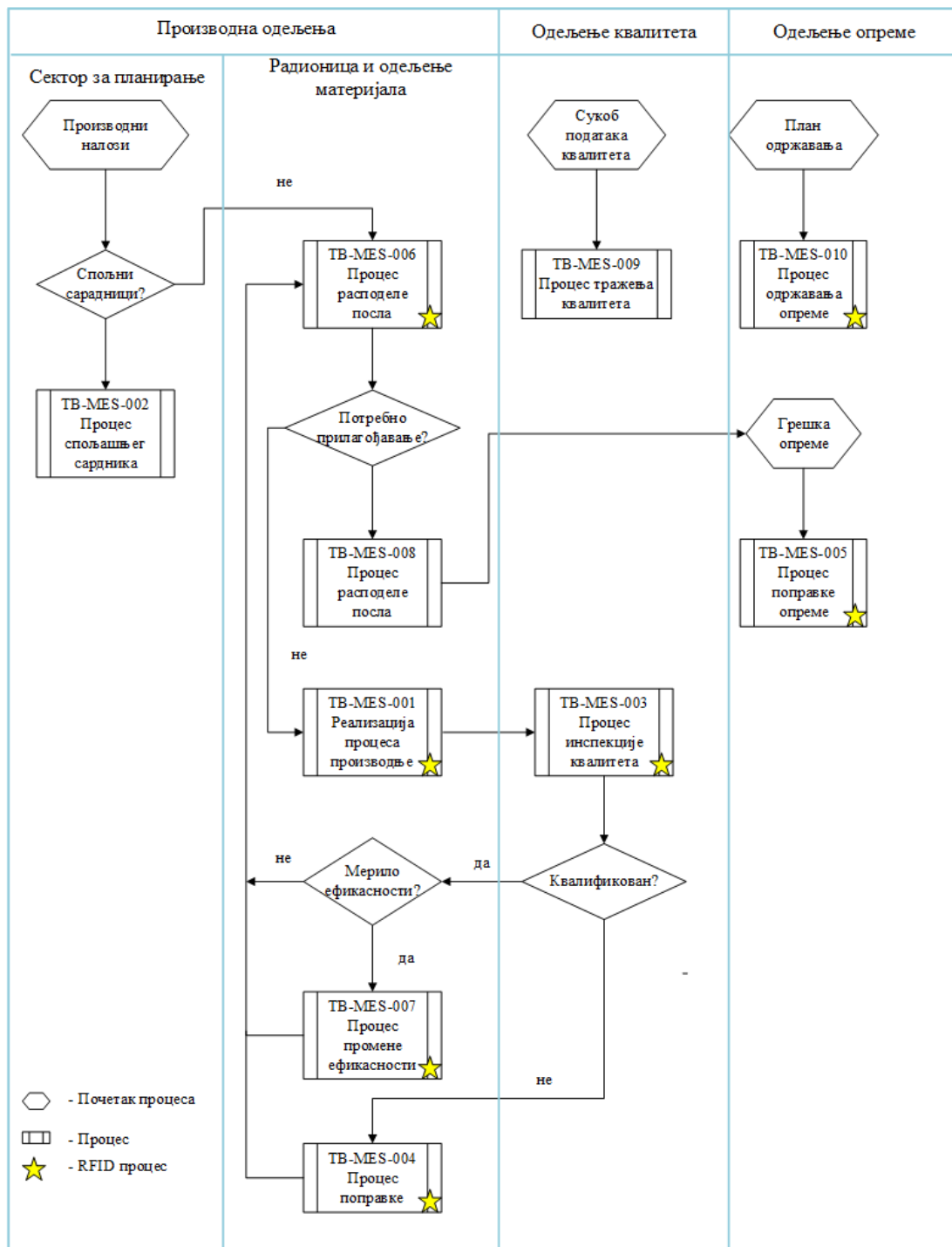
¹² PDM - Product Data Management

- дефиницију радних ћелија су припремљене од стране консултаната за имплементацију *MES* и производних менаџера у радионицама, а онда је увезена у *ERP* и синхронизован са *MES*,
- информације о картицама особља прикупљају одељења за људске ресурсе у *ERP*, а затим синхронизују са *MES*,
- пријаву корисника, група и њихових приступних овлашћења која су дефинисана од стране тима за техничку подршку уз помоћ консултаната, и
- стандардне техничке процедуре једне врсте производа која су формулисана у *ERP* уз консултације и сарадњу техничких инжењера, радионичких менаџера и консултаната, а служе као референце за сваки производни налог.

Резултат реструктурирања пословних процеса, приказан сликом 3.3, даје преглед производних активности после реинжењеринга, који сада у новонасталим условима примењује *MES* са свим предхоно припремљеним подацима процеса.

Запажања и предности овако дизајнираног система огледају се у: интеграцији и видљивости система на свим нивоима (планерском, дистрибутивном, корисничком, и др.) у реалном времену, побољшање ефикасности производње (прилагодљив начин извршења у реалном времену и агилна производња која одговара динамичким захтевима, нема кружења папирне документације што директно утиче на степен искоришћења обрадних ресурса) и такође у другим скривеним индиректним побољшањима (штампања документације, доставе радионицама потребних налога и документација јер је *MES* аутоматизован, итд.).

Посебан бенефит овог система са примењеном *RFID* технологијом односила би се на праћење производног процеса у реалном времену, благовременог отклањање застоја услед неисправности опреме и преусмеравања процеса другим сродним ресурсима који могу подржати операције са привремено искључених ресурса. Ова производња добија карактер прилагодљиве и адаптивне производње, а идејна решења могу се имплементирати у флексибилне производне системе.



Слика 3.3 Преглед реализације производње (адаптирано из *M.L. Wang et al.*, 2012)

3.2 Примери модела управљања применом технологије *RFID*

3.2.1 Примери модела управљања базираних на агентима

У раду „*An RFID-based enterprise application integration framework for real-time management of dynamic manufacturing processes*” аутори уводе појам *EAI*¹³, чије апликације дају свеобухватност у покушају примене *RFID*, тако да се процеси трансформишу, а њихово управљање обавља динамички у реалном времену (*Ruey-Shun Chen et al.*, 2010). Дају се основни приступи агент - ориентисаним информацијама за управљање у реалном времену. Такође, аутори истичу да *RFID* технологија отвара потребу за потражњом нових врсти софтверског система, да би се обрадио све већи, надолazeћи, прилив *RFID* података у систему. Агент, софтвер, у овој ситуацији, постаје прави кандидат да преузме нови изазов.

Агент је активан објекат који поседује одређене способности за обављање послова и комуникацију са другим агентима на основу организационе структуре, а дизајниран је да координира остваривању предвиђених задатака. Избор динамичких промена података генерише систем *RFID*, док „софтверски агент”, као део софтвера, дефинише и континуално прати изворе података у глобалној рачунарској мрежи, где је информација од интереса доступна у реалном времену. Када су одређени сигнали детектовани као подаци, софтвер преузима одговарајућу/е акцију/е у име корисника.

Различити осмишљени системи на бази агента који су описани у литератури, чијих поставки се аутори придржавају и усвајају, и с обзиром на примену предложеног *EAI* оквира, дата архитектура агента у овом истраживачком раду садржи следеће компоненте:

- Комуникациони канал:

Комуникациони канал управља долазним и одлазним порукама за агента. Поруке могу долазити из тага, *web* сервиса, других система предузећа, и од других агената.

- Агент репозиториј:

Сваки софтверски агент треба да има своју сопствену меморију где би се меморисала разна пословна правила/логика и информације о тренутном/прошлом стању.

- Аналитичар порука:

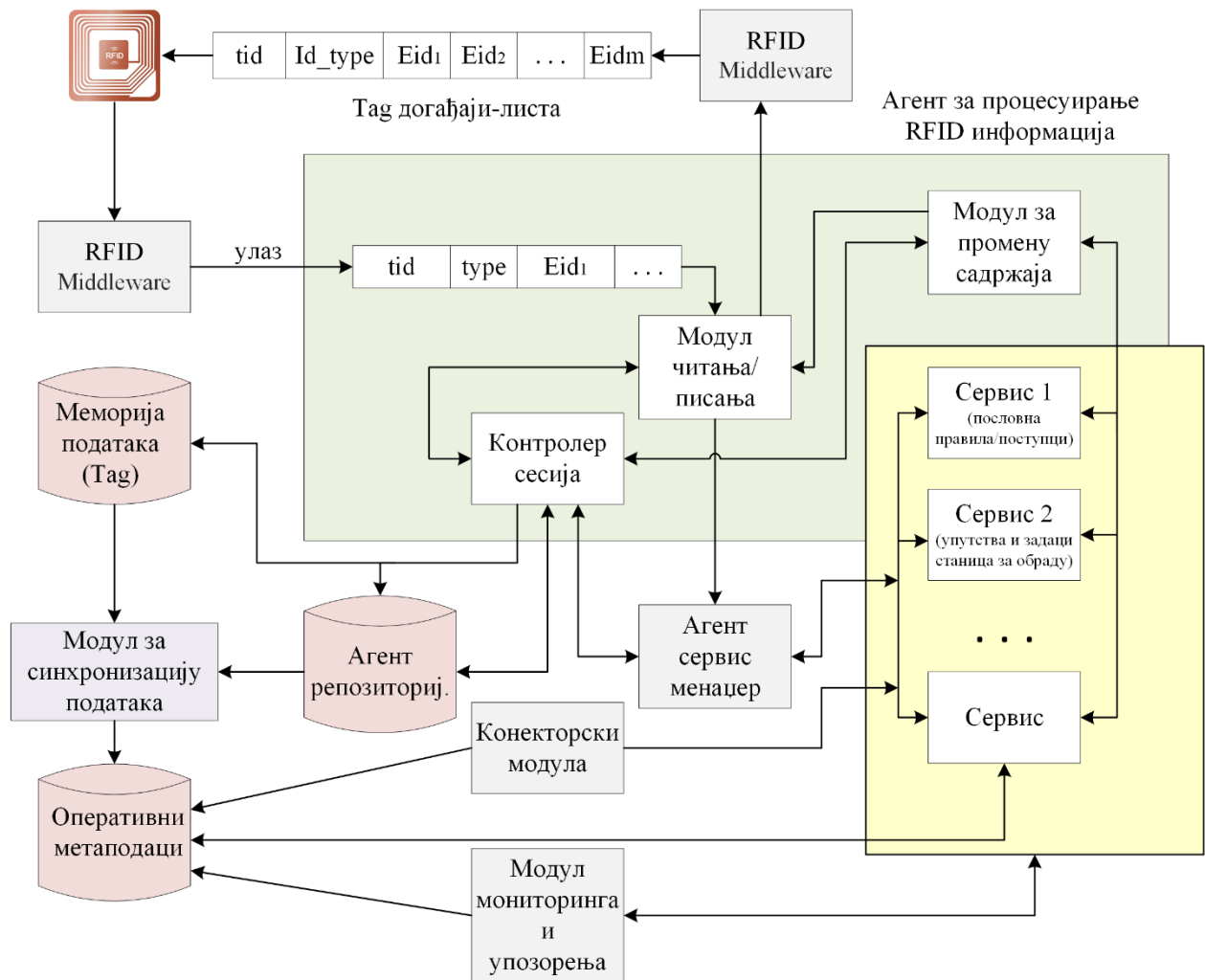
Када агент прими долазну поруку од канала комуникације, аналитичар порука ће анализирати врсту поруке из одговарајуће листе догађаја и достављати их процесору догађаја за обављање одговарајућег задатка.

- Процесор догађаја:

Процесор догађаја тумачи декомпоновањем поруке достављајући поруку аналитичару, консултујући агент складиштења за пословна правила/логику, а затим предузима одговарајуће кораке на основу типа поруке/листе догађаја и њихових одговарајућих пословних правила/логике.

¹³ *EAI* - Enterprise application integration

Аутори предлажу *EAI* оквир који чине софтверски агенти и *RFID* тагови са специјално дизајнираном структуром података под називом „листе догађаја”, као што је приказано на слици 3.4. Листе догађаја су низови података који заузимају мали меморијски простор у *RFID* тагу. Информације се могу изчитати и записати у овом меморијском простору, чинећи таг интелигентним производом или мобилним агентом са сопственом меморијом. Уношење локација опремљене *RFID* читачем, а таг је "пробуђен" у близини читача и практично постаје "жив". Овај "живи објекат" у одређеном времену и простору може да преузме његову историју са сопствене листе догађаја или *Агент репозиториј* (агент складиштења), такође да обавља задатке преко *Агент сервис менаџер*, и прима инструкције од *Модул за промену садржаја* поводом будућих акционих планова.



Слика 3.4 *EAI* оквир користећи *RFID* и софтверски агенти (преузето из Ruey-Shun Chen, et al. 2010)

Улоге агената и других конструктивних елемената приказани су на слици 3.4 где аутори детаљно расчлањују блок шему:

- *RFID Middleware*¹⁴:

Средњи слој модула је углавном одговоран за управљање *RFID* читачима и филтрирање сирових *RFID* података, пружајући логички интерфејс за апликацију корисницима у циљу физичког управљања *RFID* читачима на ниском нивоу управљања сировим *RFID* подацима. Једноставан *RFID* догађај (који садржи ознаку садржаја стринг, временску ознаку и id локацију) генерише се помоћу *RFID middleware* након предпроцесирања сировог *RFID* сигнала. *RFID* обраду догађаја на даље врши *Агент за процесуирање RFID информација (REA)*.

- *Агент за процесуирање RFID информација (REA, енг. RFID Event Processing Agent)*:

Агент за процесуирање RFID информација је дизајниран за обраду *RFID* информације о догађају и предузема одговарајуће мере у станици. У наставку различитих функционалних модула, који чине *Агент за процесуирање RFID информација*, описани су:

- *Модул читања/писања (енг. Tag Handler)*:

Handler модул који је одговоран за процес читања/писања тага и рашчланивања, као и анализирања долазних једноставних информација о *RFID*-догађају (са *RFID middleware*). То ће претворити једноставан *RFID* догађај у случај за обраду радног предмета ако је *RFID* догађај процесуиран (предвиђен за обраду) за радни предмет. Он такође олакшава процес руковањем тага заснованог на обради таг логике на специфичним локацијама. То обично захтева *RFID middleware* да би се учинили лакшим процеси читања/писања тага.

- *Контролер сесија (енг. Session Controller)*:

Модул *Session Controller* првенствено обавља улогу контроле сесија и приступ/изналажењу податка у *Агенту за процесуирање RFID информација*. Он такође обезбеђује кеш податке за сет параметарских података прихваћених од *Модула читања/писања* и локација и/или операција (специфичних информација) добијених од *Агент репозиториј* (захтевајући исти *Модул читања/писања*). *Контролер сесија* ствара нову обраду догађаја у сесији за процесуирање коју генерише *Модул читања/писања*. Када се заврши циклус радни предмет за обраду догађаја, синхронизује податке за обраду са *Агент репозиториј* и ослобађа меморијски ресурс за коришћење у компјутерском серверу. Ове операције управљања циклусом кеширања и сесијом *RFID* догађаја пружа *Контролер сесија* побољшавајући укупни *RFID*-догађај, брзину процесирања и интеграцију података.

¹⁴ Посредни софтвер (engl. *middleware*, MW) је рачунарски софтвер који пружа сервисе софтверским апликацијама изван опсега оперативног система. Стога *middleware* није део оперативног система, ни система за управљање базама података, нити је део извршног софтвера. Посредни софтвер на пример служи за стварање мултимедијалних апликација на брз и робусан начин. Он је као “лепак за SW”. Посредни софтвер олакшава онима који развијају софтвер да изврше комуникацију и улазно-излазне операције (input/output), тако да они могу да се фокусирају на специфичност сопствене апликације.

- *Модул за промену садржаја* (енг. *Event Manager*):

Модул за промену садржаја одговоран је за припрему нових догађаја, писање или брисање инструкција са подацима *RFID* тага преко модула читања/писања. Он преузима нове информације о догађају од *Agent Repository* или прима инструкције за (пре) брисање обрађених догађаја из разних сервиса, а затим припрема информације потребне новим догађајима и ствара нови код који садржи асоцијативне информације о догађају. Онда тражи *RFID* модул читања/писања да напише нови код догађаја на одговарајући *RFID* таг. На крају, овај модул за промену садржаја безусловно детерминише следећи операциони процес и јединичну процедуру за радни предмет.

- *Агент сервис менаџер (SMA; енг. Service Manager Agent)*:

Агент сервис менаџер прихвата захтеве за сервис из *Агента за процесуирање RFID информација* и позива екстерне услуге за *Агент за процесуирање RFID информација*. Те услуге могу да се налазе у машини, серверу, или било ком другом уређају. *Агент сервис менаџер* може позвати те услуге кроз SOA¹⁵ архитектуру или директно да функција/програм позива те (сервисе) услуге. После завршетка задатака, *Агент сервис менаџер* је одговоран за прикупљање оперативних резултате од тих сервиса и извештавање у *Агенту за процесуирање RFID информација*.

- *Конектор модул* (енг. *Connector Module*): Модул конектор је такође одговоран за интеграцију апликација између „*framework*” и спољашњу примену, укључујући планирање ресурса предузећа (*ERP*) системима и системима извршења производње (*MES*). Прима информације везане за интерфејс, као што су наредбе за активност (задатак, посао) из *ERP* и радних налога из *MES*, а такође шаље информације везане за интерфејс са њих. На пример, може да преузме релевантне информације инициране од *RFID* тагованог радног предмета из *ERP* и *MES*. Он такође може да преузме одређене информације из оперативних метаподатака и прослеђивати (извозити) на сервисе који захтевају такве информације о одређеној прилици.
- *Модул мониторинга и упозорења* (енг. *Monitor and Alert Module*): Када се одређени сигнали или обрасци (*patterns*) детектују у оперативним метаподацима, наведени модул ће добити у реалном времену процеса статус радних предмета и извештај о промена процеса у другим модулима који траже такве информације. Модул се реализује као интегрисани део апликације *web* модула у овом прототип систему.
- *Модул за синхронизацију података* (енг. *Data Synchronization Module*): У овом модулу, екстракција, трансформација и унос (*ETL*¹⁶) процедура се користи за консолидацију и трансформацију података из *Агент репозиториј* и *Меморија података* у *Оперативним метаподаци*. Ове процедуре ће прво претворити *RFID* догађаје у пословне догађаје, а затим се консолидују пословни догађаји са пословним процесним моделима (на пример, рутирање информација) сачуваним

¹⁵ SOA – service-oriented architecture

¹⁶ ETL- extraction, transformation, and loading

у спремишту *Агент репозиториј* како би се добили контекстуализовани пословни процесни догађаји.

- *Агент репозиториј* (енг. *Agent Repository*):

У производном окружењу, ови подаци се обично складиште и налазе се у линији контроле РС рачунара за процесни простор или локалну производну линију. Следеће врсте информација се чувају:

- Мапирање информације за *RFID* читач/антене и област/локација покривен њиме,
- Основни подаци о сваком конкретном процесном простору или производној линији,
- „Рецепт” информације везане за локалну машину/алате процесног простора или производне линије, и
- Систем параметара и других специфичних податка до локалног процесног простора или производне линије

- *Меморија података* (енг. *Transaction Log*):

Ово је оперативно складиште (меморија) података која чува не само све податке *tag* трансакције као таговани објекат крећући се од једне локације до друге, већ и према неким историјским информацијама. Ово складиште података може се налазити у централном систему који прати све распоређене контролне линије рачунара. Он такође може бити смештен у локалним линијама за контролу рачунара, а затим повремено делити информације са централним системом.

- *Оперативни метаподаци* (енг. *Operational Metadata*):

Оперативни метаподаци складиштења - као посебна врста складишта чувају актуелне податке (у реалном времену) у функцији метаподатака који могу бити издвојени из више оперативних извора података (у овом случају, активности регистра тага и *Агент репозиториј*), консолидовани и нормализовани у комплетан модел података, а доступни за упит и анализу. Могуће је лакше добијање информација у реалном времену о локацији означеног уз помоћ оперативног метаподатака.

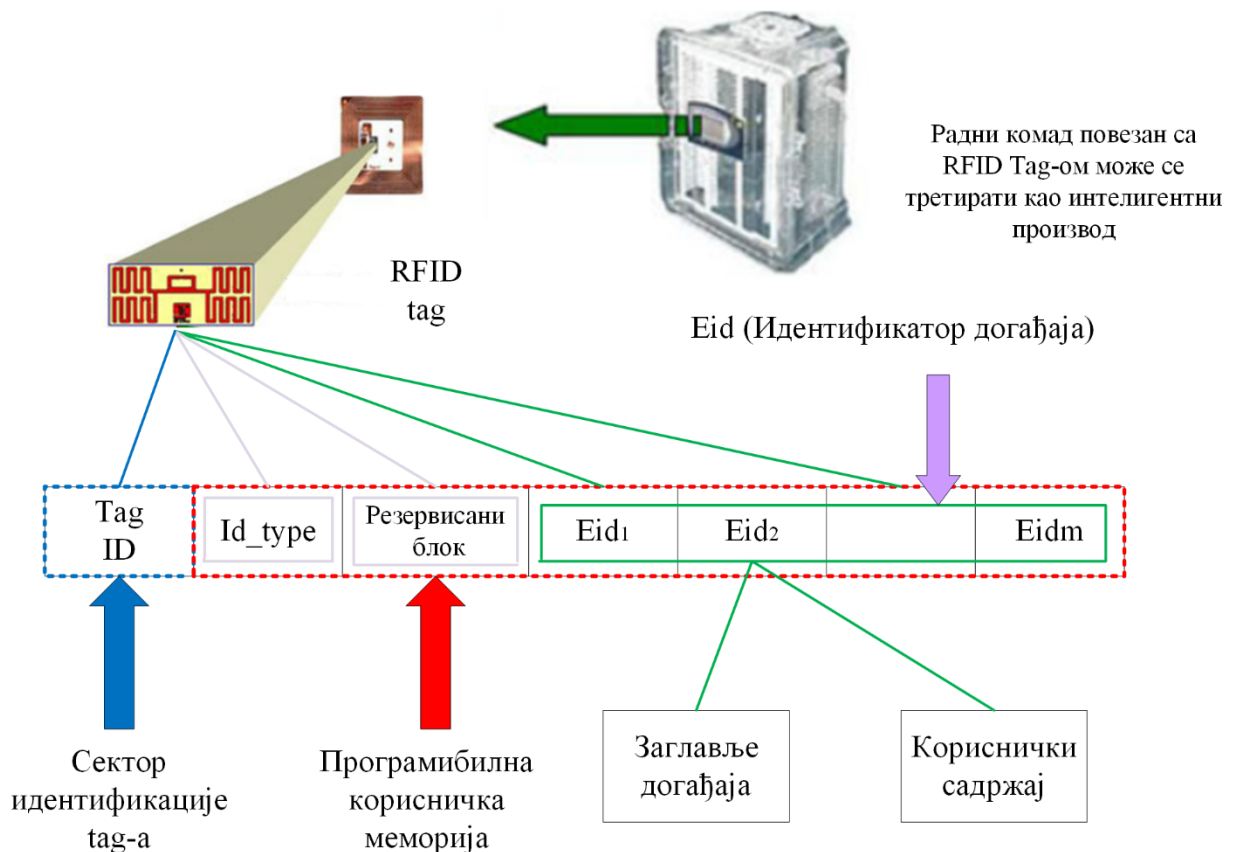
- *Сервиси*:

Разни сервиси су загарантовани у *SOA*. Ови сервиси могу постојати за системске функције предузећа или посебно дизајниране функције за специфични агент.

Шема кодирања *RFID* тага се може посматрати као део онтолошког модела¹⁷ предложеног *EAI* оквира. Онтологија се користи за размену знања агента и постаје

¹⁷ Онтологије су договори о дељеним концептуализацијама. Дељене концептуализације укључују концептуалне оквире за моделирање домена знања; садржајно-специфициране протоколе за комуникацију између интер-оперативних агената; и договоре о заступању појединачних теорија домена. У контексту дељења знања, онтологије су представљене у форми дефинисања репрезентативних речника. Моделирање

кључни елемент за изградњу мулти агент систем. Само оно што може бити представљено онтологијама може бити представљено у базама знања агента. Скоро доступне процедуре, према (*Obitko M & Marik V., 2002*), описују мулти агент системе на које се примењују онтологије и агент технологије за изградњу виртуелне опсервативне способности.



Слика 3.5 *RFID* таг структура података (преузето из *Ruey-Shun Chen, et al., 2010*)

Меморијска структура података код *RFID* тага причвршћеног за радни предмет углавном се састоји од три главне области што је приказано на слици. 3.5 (структура се може проширити на више области), односно Таг *ID* означен као *tid*, Таг врсте објекта и атрибута, означен као *id_tipe*, и садржај догађаја означен као *Eid*. Резервисани флексибилан простор је опциони меморијски простор да би се прикупиле информације не категорије. Осим за Таг *ID* који могу бити смештени у таг идентификационој меморији, унапред је дефинисана организација меморије за индустријски стандард, док се преостали типови података издвајају у програмабилну корисничку меморију, тј. слободан меморијски простор који омогућава специфичне, за корисника, чуване податке, а њена организација меморије је кориснички дефинисана. Детаљи ових типова података су објашњени у даљем тексту:

у онтолошком инжињерингу обезбеђује апстракцију, дефинисање ограничења и технике хијерархијског и техничког представљања знања (извор: Телекомуникациони форум TELFOR 2006).

- *Tag ID (tid)*:

Таг *ID* је јединствен код *RFID* тага који представља физички објекат, а кодирање може да прати индустријски стандард (нпр, *EPC Global* или *ISO* стандарди) или пак бити јединствени у компанији.

- *Тип атрибута таг објеката (id_tipe)*:

Тип *ID* се користи за снимање класе производа и помоћних (придружених) информација које се односе на производ да би омогућили брзу класификацију означених физичких објеката. На пример, може се дефинисати *id_tipes* као производ или различита компонента која се распознаје било да је *Tag ID* на крају производа приказује или монтажну компоненту у производном процесу.

- *Идентификациона ознака догађаја (Eid)*:

Идентификациона ознака догађаја даје простор за снимање процесних инструкција и производну генералогiju за обрадке или производе. Сваки *Eid* садржи или показивач или кодирану информацију да би репрезентовали стварне руте или сервисне инструкције. Сваки *Eid* се састоји од (*header*-а) заглавља (*EH*) и једне корисничке носивости (садржаја) (*EP*). *EH* се користи за снимање различитих процеса „*flags*” и статусним информација, а *EP* се користи за чување разних параметара податка о догађајима. *Eid* може бити претходно дефинисан и тада дефинисане логичке операције могу се претходно учитати у меморију *RFID* тага. Динамичко одређивање времена извршавања логичке операције оствариво је у следећој фази. Тада, након завршетка актуелног поступка може се записати садржај на *RFID* тагу. Ако је случај статички, дизајнирана шема је једноставна, *Eid* структура ће имати *EP* који садржи кодну инструкцију (рецепт) у фази обраде и *EH* тада садржи статусни „*flags*” који означава да ли је одговарајући ниво процеса завршен или не. *Eid* листе могу формирати врсту производног порекла који садржи историју догађаја који су се десили за означени производ. С друге стране, ако је предмет динамичан, може се учинити да *Eid* забележи само процесне резултате, као производно порекло, и чувати динамичан део процесне инструкције у резервисаном блоку. Систем прототип реализује ову шему. Ипак, структура података на идентификатору није ограничена, садржи само рутирање или инструкцију за процесирање. Идентификатор догађаја може бити пројектован тако да садржи различите заставице (енг. *flags*), типове података, и кодне шеме које пружају заједничке онтологије чиме репрезентују заједничке дефиниције које описују карактеристике таг објекта. *Агент за процесуирање RFID информација* и *Агент сервис менаџер* могу манипулисати *Eid* листама (облик *Link*-листе). Овим агентима морају се приписати исто кодно шематско значење на *RFID* тагу ради ефикасније комуникације између агената и интелигентних производа (таговани - означени предмет) и међусобним агентима. Користи се термин листе догађаја за представљање *Eid* листе. Такав *RFID* може се третирати као интелигентни производ или мобилни агент који има следеће карактеристике:

- да поседује јединствену идентификацију,
- да је способан да се ефикасно комуницира са својом околином,
- да може задржати или сачувати податке о себи

- да (развија) инсталира језик за приказивање својих карактеристика производних захтева, итд. и
- да је способан да учествује у доношењу одлука или развити релевантне одлуке за (сопствен) производ.

И ако тренутни дизајн тагова не може да задовољи карактеристике способности ефикасне комуникације са околином и способности учествовања у доношењу одлука, још увек може се направити мобилни агент тако што *RFID*-догађај *Event Processing Agent* преузима такву улогу када се обрађује циљани радни предмет.

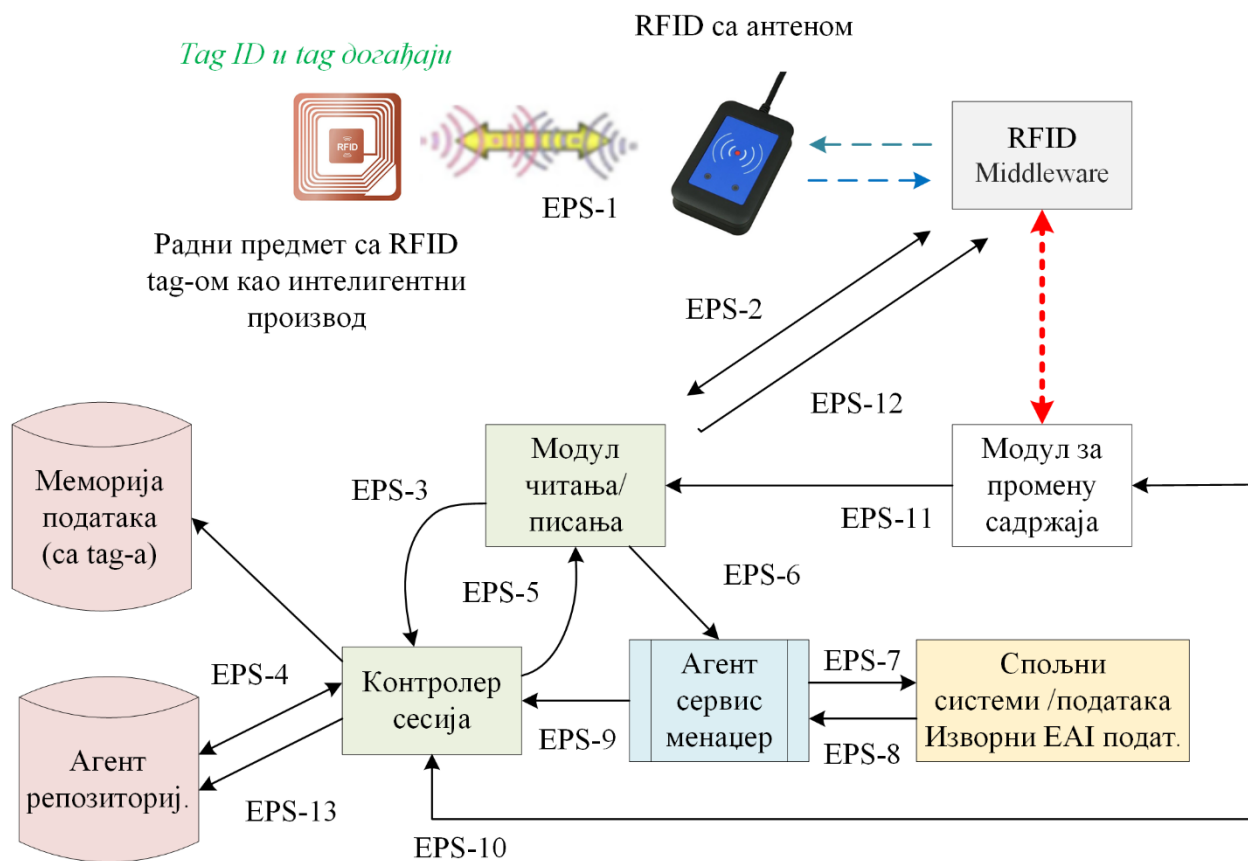
На даље се дају основе управљања агентима и модел процесуирања *RFID* догађаја. Интеракције и проток информација између компоненти у оквиру процесуирања *RFID* информација о догађају се називају корацама за догађај (*EPS*), што је илустровано на слици 3.6. Детаљи ових интеракција и кореспонденционе логике (захвата) руковања су описани у даљем тексту (ови основни кораци процесуирања догађаја могу бити модификовани за различите примене):

EPS-1: Таговани објекат (екс. радни предмет) преноси своје податке на *RFID* читач кад год улази у опсег читања антене читача. *RFID* читач затим преноси ове податке на *RFID Middleware* који стално прати неколико читача. *RFID Middleware*, по пријему сирово означених (тагованих) податка, врши филтрирање података и придобија ознаку *ID*, врсту производа и атрибуте, као и садржај догађаја од *RFID* читача. Овај средњи слој их онда преноси у мета ознаку *Handler* модул. У случају да је потребно податке тага обработити, *Модул читања/писања* мора да обухвати и податке анализатора за обављање операционе анализе.

EPS-2: *Модул читања/писања* је повезан са *RFID Middleware*, а подаци тага могу да се шаљу на *Модул читања/писања* од стране *Middleware* или се прво кеширају (привремено складиште) у *Middleware*, а затим их *Модул читања/писања* добија када се створе капацитативни услови за процесуирање више таг података (појава обраде више тагова).

EPS-3: Након пријема таг података, *Модул читања/писања* одмах рашчлањује и анализира те податке и генерише нови *RFID*-догађај (екс. процесуирање догађаја радног предмета). *Модул читања/писања* затим позива *Контролер сесија* да обезбеди нову манипулацију догађаја сесије за тај *RFID* догађај и преноси повезане параметре (информације, као што су ознаке *ID*, *id_tipe*, и *Eid*) на *Контролеру сесија*.

EPS-4: *Контролер сесија* креира руковање догађаја сесије и додељује меморију сесије за то. Идеја је стварања меморије сесије као постојане меморије да би се избегли губици података и очували интегритет података током читавог животног циклуса догађаја руковања сесијом. *Контролер сесија* затим добија релевантне информације везане за радни предмет, као и локације - и/или операције-специфичне информације од *Агент репозиториј* користећи параметре које доноси са *Модул читања/писања*, а затим кешира ове податке у својој меморији.



Слика 3.6 Интеракције и проток информација између компоненти

EPS-5: Контролер сесија шаље кључне параметре у вези са означеним објектом назад Модулу читања/писања за даљу детерминацију и процесуирање.

EPS-6: Користећи параметре добијене из Контролер сесија, Модул читања/писања упоређује и анализира таг ID и параметре догађаја да би се утврдило да ли неки догађај може да се обради на овој локацији и у овом тренутку. Ако је резултат позитиван, Модул читања/писања шаље обавештење са повезаним подацима параметара на Агент сервис менаџер како би обрадио догађај; иначе, обавештава Агент сервис менаџер и изузетно барата и приказује поруку о грешци и релевантне информације исправља за корисника.

EPS-7: Агент сервис менаџер, по пријему обавештења за обраду догађаја и асоцијативних параметара из Модула читања/писања, преузима логички процес догађаја или (рецепт) правац информација или од Агент репозиториј или екстерних извора (External Sources). Алтернативно, ако детаљни подаци догађаја су унапред дефинисани и претходно инсталирани у таг меморију током иницирања означеног објекта, Агент сервис менаџер обавља свој рад директно у складу са повезаним подешавањем података и повезаним упутством са послатог тага из таг (*handler*) руковалац. Агент сервис менаџер затим преноси логику процеса догађаја или правац информација спољних система као што су процесне машине и MES и покреће аутоматски ток процеса (било директно извршава или комуницира са спољним системом преко мрежног сервиса или чека мануелни процес).

EPS-8: Када се спољни процес/операција заврше, информације спољашњег процеса шаљу се назад у Агент сервис менаџер од стране спољног система.

EPS-9: Агент сервис менаџер тада шаље екстерне процесне информације *Контролеру сесија*.

EPS 10: Контролер сесија региструје екстерне спољашње процесне информације у своју кеш меморију и шаље комплетно обавештење и асоцијативне параметре *Модул-а за промену садржаја*.

EPS-11: Модул за промену садржаја, чита асоцијативни процесни догађај ток информација од *Агент репозиториј* (кроз *Контролер сесија*) у складу са припадајућим параметрима, и тако добија најновије информације у вези са статусом интелигентног производа (идентификованог објекта) и његове средине (као што је ресурс или рутирана информација). На крају, поређења података и рачунарства (у смислу срачунавања) изводе се у складу (сагласно) са информацијама, асоцијативне информације догађаја и биће комплетно добијене у наредној фази на тагу. Нове информације догађаја (нпр. *ID* тип и *Eid*) се генеришу. Алтернативно, ако је *Eid* је био унапред одређен и предустановљен у тагу за време иницијализације идентификованог објекта, тада *Модул за промену садржаја* директно чита нове информације о догађају из *Eid* листа који су смештене у овој таг меморији. Коначно, *Модул за промену садржаја* преноси нове информације о догађају на *Модул читања/писања*.

EPS-12: Модул читања/писања пише нови догађај у *RFID* таг (то јест, одговарајући означени објекат/рада) преко *RFID-Middleware* и *RFID* читача, а такође ажурира повезане параметре тренутног догађаја. Осим тога, овај *Модул за промену садржаја* може да тражи од *Модул читања/писања* да добије *tag_id* радног предмета из *Middleware* и да се консултује са *Контролером сесија* да ли је *id* иста са оном тренутно сачуваном у сесији. Овај додатни поступак може помоћи *Агенту за процесирање RFID информација* да се увери да ради на истом радном предмету и на тај начин избегне ажурирање података са погрешног радног комада.

EPS-13: Након што је таг догађај успешно записан, Модул читања/писања обавештава Контролер сесија тако да су повезани подаци регистровани у кеш меморији а уписују се у базу података система (*Агент репозиториј* и *Меморија података*), чиме се ослобађају одговарајуће сачуване податке догађај повезане са радним предмета из меморије *Контролер сесија* током овог догађаја руковања сесијом.

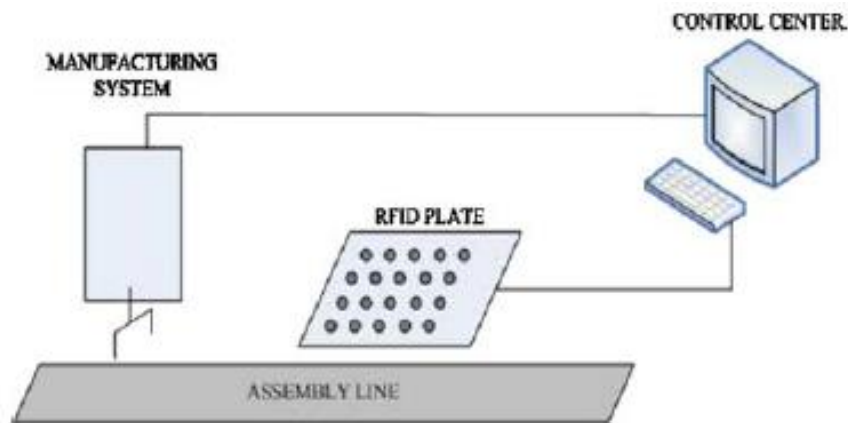
На основу теориског разматрања аутори дају пример конкретног модел управљања чија интеракција са окружењем у овом моделу управљања значи да је агент способан да реагује на улаз добијен од сензора из окружења и да може да изведе акције које мењају окружење у коме агенти делују.

3.2.2 Примери модела управљања транспортом – монтажним процесима

У раду „*RFID-enabled tracking in flexible assembly line*” излаже се проблем бежичне идентификације делова у монтажним флексибилним процесима применом *RFID* технологије (*Wang JH et al., 2010*). Монтажна линија је генерално схваћена као производни процес, где се производ креира компоновањем заменљивих делова по одређеном распореду.

У монтажним линија уобичајно се користи технологија са роботима за препознавања делова и контрола (управљање) алатом на крају роботске руке, да би се ухватио и поставио део. У овом раду презентирани су алтернативни метод за локацију објекта на

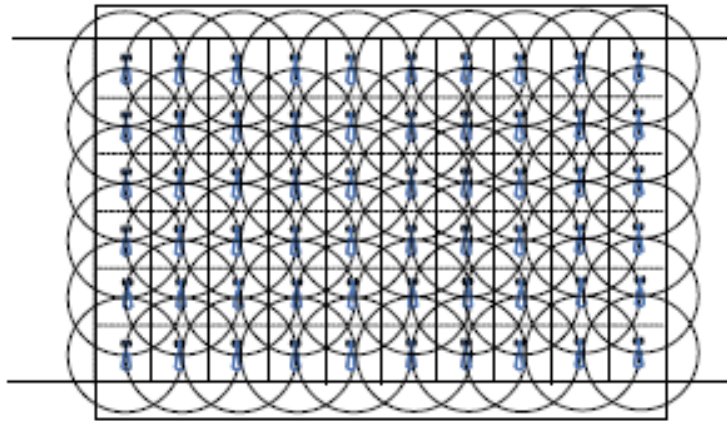
монтажној линији са могућностима идентификације. Алгоритам базиран на методама мерења удаљености може да помогне детектору да лоцира објекат тако што ће измерити растојање или угао између тачака. Један од таквих, наводе аутори, је и *RADAR-based systems*, за који су развијени локациони алгоритми и примењени у праћењу објеката, као што су *range-based* и *range-free* технике лоцирања. „*Range-based*” алгоритми углавном укључују *RSSI*, *TOA*, *TDOA*, *AOA* итд. Ове методе спадају у скупља варијантна решења. Такође у тексту се наводе и методе праћења објекта применом *GPS* или *GPRS* који нису применљиви у монтажним и производним системима.



Слика 3.7 Структура аутоматског управљања обрадног система

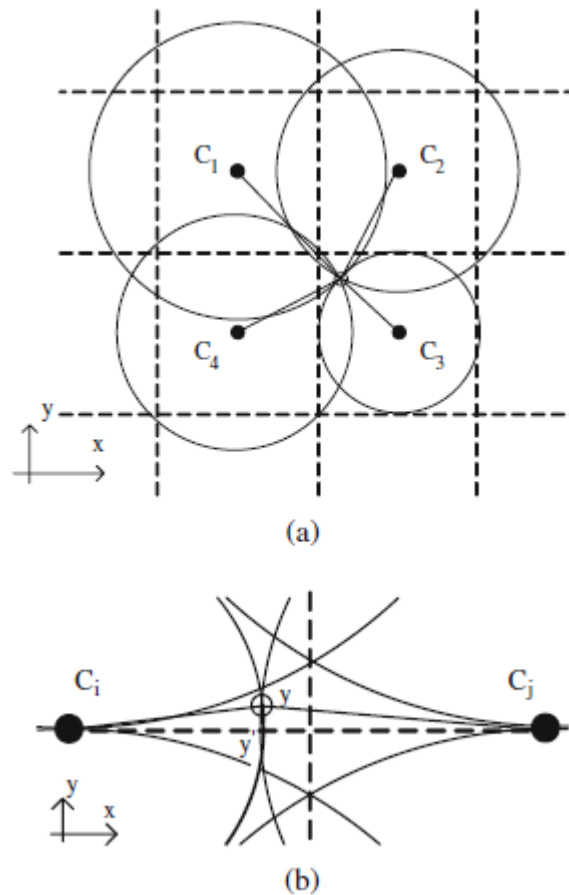
Претходно изнети разлози наводе ауторе да прибегну јефтинијем решењу базираном на технологији *RFID*, шематски приказан на слици 3.7. Сваки објекат на монтажној линији има причвршћен пасивни *RFID* транспондер чиме је монтажни део претворен у такозвани паметни објекат. Тада је кретања делова могуће пратити да би се олакшало планирање и управљање у реалном времену производне монтажне. Као што је наведено тагови се могу поставити на регуларне делове у монтажној линији, док читачи прекривају комплетан радни простор правећи сензорску мрежу за укупну монтажну линију, што је приказано на слици 3.8. Читачи су правилно распоређени и сваки појединачно има свој домет. Када се део нађе у домету бар три читача могуће је на основу алгоритма триангулације одредити његов положај у монтажном простору. Ако се при овом читавању пријави већи број читача који су регистровали присуство дела то само доприноси сигурнијој детекцији дела у монтажном простору. Ако само један читач детектује део то указује да је његов положај одређен положајем читача.

Тагови могу радити као *RF* трансмитери (уређаји). Али читачи обично нису дизајнирани за детекцију правца и растојања. Читачи са таквим карактеристикама су веома скупи и њихова примена је ограничена. Из тих разлога аутори овог рада су нашли решење у јефтинијим читачима са прихватљивим трошковима, који могу детектовати само растојање. У раду су изложена два алгоритма за детекцију положаја тага на *RFID* плочи; алгоритам локације базиран на удаљености и алгоритам локације без удаљености.



Слика 3.8 Систем за праћење на линији монтаже (преузето из *Ruey-Shun Chen, et al., 2010*)

Код алгоритма локације базиране на удаљености положај тага (као тачке) одређује се методом триангулације на основу пресека три или више кругова са познатом позицијом центра читача, као што је приказано на слици. 3.9.а. На даље се презентира математички модел одређивања положаја тага.



Слика 3.9 Дијаграм трилатерације (преузето из *Ruey-Shun Chen, et al., 2010*)

$C_i = [x_i y_i]^T$ – репрезентује позицију читача i ; d_i репрезентује дистанцу између читача i до циљног тага. Може се добити низ детектованих резултата: $[C_1, d_1]^T, \dots, [C_M, d_M]^T, M \geq 2$ је број узорака. Нека је $X = [x, y]^T$ тачка пресека кругова, који могу бити израчунати кроз следећи низ:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = d_3^2 \\ (x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 = d_4^2 \end{cases} \quad (1)$$

И даље генерише заједнички закључак:

$$X = \frac{1}{2} (A^T A)^{-1} A^T b \quad (2)$$

Међу којима:

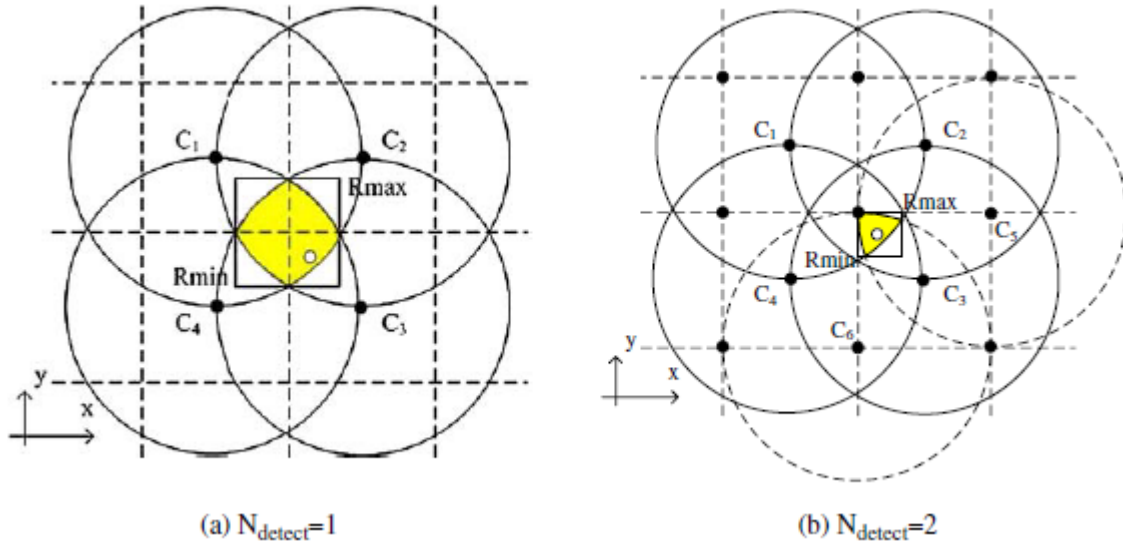
$$A = \begin{bmatrix} (x_1 - x_4) & (y_1 - y_4) \\ (x_2 - x_4) & (y_2 - y_4) \\ (x_3 - x_4) & (y_3 - y_4) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_4^2 + y_1^2 - y_4^2 + d_4^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_4^2 + y_2^2 - y_4^2 + d_4^2 - d_2^2 \\ x_3^2 - x_4^2 + y_3^2 - y_4^2 + d_4^2 - d_3^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Када се израчуна величина d као мера удаљености од читача и позиције читача која је већ позната, може се добити величине A и b . Ред A је једнак или већи од колона, тако да позиција тагова X може бити израчуната.

Слика 3.9.б приказује гранични случај; случај кад се границе домета два читача додирују. Тада аутори препоручују повећање густине читача.

Идеја примењена код алгоритма локације без мерења удаљености заснована је на принципу израчунавања регије пресека детектованих путем присутних читача конкретног тага. Слика 3.10. (а и б) најбоље осликавају детекцију примене наведеног алгоритма. Намеће се и неминовни закључак, да густина мреже читача директно утиче на повећање тачности положаја тага.



Слика 3.10 Лоцирање у границама правоугаоног дијаграма (преузето из *Ruey-Shun Chen, et al. 2010*)

Развијен је и математички модел за израчунавање: броја и густине читача као и локације објекта у мрежи читача. Уводе се следеће величине релевантне за адекватно тумачење: регион пресека - ROI , локација објекта - $L_{target}(x', y')$, правоугаоник дефинисан према максималним и минималним координатама у региону које су представљене као $R_{max}(X_{max}, Y_{max})$ и $R_{min}(X_{min}, Y_{min})$, број читача који се налазе у свакој мрежи тј. густина читача у плочи - N_{detect} . $X = [x, y]^T$ је тачка пресека кругова $C_i = [x_i, y_i]^T$ и $C_j = [x_j, y_j]^T$ са фиксним радијусом r , тада се могу користити једначине:

$$X = \frac{1}{2}Ab$$

$$A = \begin{bmatrix} (x_i + x_j) & -(y_i - y_j) \\ (y_i + y_j) & (x_i - x_j) \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 1 \\ \pm \frac{1}{\sqrt{r^2 - l^2}} \end{bmatrix}$$

$$l = \frac{1}{2} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

а локација објекта се израчунава:

$$L_{target}(x', y') = \left(\frac{x_{max} + x_{min}}{2}, \frac{y_{max} + y_{min}}{2} \right)$$

Многи проблеми у науци захтевају процену стања система који се мењају током времена користећи низ мерења направљених на систему. Како објекат може бити произвољно постављен на покретној траци, веродостојност резултата праћења обично нерегуларних објеката, мерењем шума и случајног кретања објекта, обично не може задовољити захтев прецизности употребљивих за производњу.

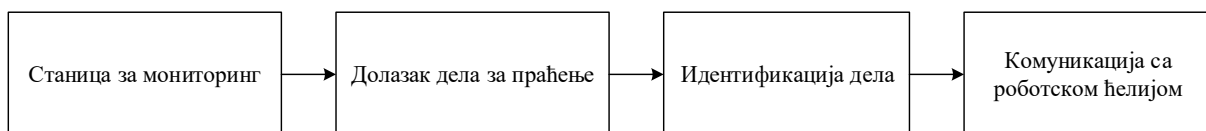
Да би се повећала прецизност праћења и побољшала ефикасност производног система, може се рекурзивно изменити процењени резултат праћењем x мерењем резултата z .

Bayesian метод филтрирања је добар избор за реализацију ове функције и нашироко студира у *RADAR* системима за традиционалне апликације праћења циља. Да би се решио нелинеарни проблем развијен је нелинеарни *Bayesian* модел за праћење. У циљу решења нелинеарног *Bayesian* модела, потребна је примена метода партикуларних филтера за повећање тачности праћења и прогнозе формирања локација објеката, наводе аутори. Овде, се аутори концентришу на приступ стању простора за моделирање динамичких система монтажне линије, а фокус им је на дискретном времену формулације проблема. Информације динамичких стања су процена самог тока праћења и зависе од кинематичких карактеристика циља.

На основу презентираних сами аутори, у закључном делу, истичу применљивост у процесима детекције и положаја уградних (монтажних) делова на монтажnoj плочи као и могућност праћења делова дуж трајекторије где се роботу као транспортном средству даје добра алатка у циљу побољшања производног процеса која у систему праћења захтева извесна побољшања модела управљања. Читачи у мрежи користе се као сензори за откривање објект који пролази кроз њихов надгледани регион. Закључак који се неминовно намеће, а односи се на праћење делова директно је у вези са величином монтажне плоче и брзине кретања покретне траке, која потенцијално може утицати на тачност позиционирања делова.

Рад „*RFID driven robotic assembly for random mix manufacturing*” разматра проблематику монтаже и заваривања, вођен интеграционим процесима идентификације (на бази *RFID*-а) делова које изводе два робота креирајући сложене роботске операције у насумичним комбинацијама (*Sotiris Makris et al.*, 2012). Делови који треба да се препознају имају различите карактеристике, као што су димензије и материјал. Окосница идеје рада долази преко научних истраживања спроведених у аутомобилској индустрији.

Роботску ћелију чине два робота од којих један прихвата делове који треба да се препознају, а други је задужен за њихово заваривање, користећи тачку отпора заваривања. Сами делови се разликују према димензијама и материјалима који чине основну карактеристику процеса. Циљ овог истраживања је да се омогући логичка контрола роботске ћелије, да се идентификују разни делови који ће бити заварени, да се идентификују димензије и материјал спојених делова. Базирано на процесу идентификације, роботи, према идеји аутора, би требали да покрену одговарајући програм да би извели руководеће и улазне процесе као што је приказано на слици 3.11.



Слика 3.11 Процес идентификације делова и роботска монтажа (прилагођено према *Sotiris Makris et al.*, 2012)

Табела 3.1 Компарација *RFID*, *barcode* и *QR* идентификационе технологије (преузето из *Wyld D*, 2006 и *Arendarenko E.*,2009).

| | <i>Barcode</i> | <i>QR code</i> | <i>RFID</i> |
|---|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Захтевају оптичку видљивост за читање | да | да | не |
| Вишеструко читање тага | не | не | да (до хиљаду) |
| Способност да се изборе са тешким прљавим срединама | мала | мала | висока |
| Удаљеност од читача | до 4 m | до 4 m | 30 cm више од 100 m |
| Идентификација типа предмета | да | да | да |
| Способност идентификације специфичног предмета | не | не | да |
| Могућност ажурирања сачуваних података | не | не | да |
| Количина података који могу бити сачувани | 20 цифара | до 3 Kb | до 128 Kb |
| Извори интерференције | прљавштина, физичке препреке | прљавштина, физичке препреке | магнетна поља |
| Способност да се прати присуство делова | не | не | да |
| Цена | ниска | ниска | средњи |

Аутори поред опште познатих особина и типова сензора примењених код роботских система наводе разлоге због којих исте не фаворизују или их не могу применити у конкретном случају идентификације и заваривања у роботској ћелији. Ову чињеницу представљају табелом наведеном у више научних радова која је и презентирана табелом 3.1. (*Wyld D*, 2006 ; *Arendarenko E.*, 2009).

Анализирајући научну литературу и доносећи закључке из табела, пре усвајања конкретних решења за наведену проблематику, аутори усвајају следеће:

- Геометрија склопљених делова је тако комплексна и захтевна да у случајевима примене бар-кода тражи изналажење добре локације на предмету и добре оријентације налепнице (ознаке) да би се ова технологија могла прочитати и успешно применити. *RFID* није толико захтеван што се тиче оријентације (зависи од тага и технологије антене) и не захтева директан контакт са читачем и тагом.
- Могућност да *RFID* тагови буду репрограмирани, комбиновани са значајно великим складиштењем података омогућава константно обнављање статуса како се производ помера, тј. технолошки напредује. Ово не може да се учини са *QR* и бар-код технологијом која само омогућава идентификацију типа делова али не и њихов опис.
- Чињеница да бар-кодови умеју да не раде док се користе у прашњавим просторијама то промовише коришћење *RFID* тагова који нису засновани на технологији оптичког скенирања.

- Могућност да *RFID* тагови надгледају долажење, одлажење као и присуство одређеног дела омогућава боље сналажење око правца кретања (путање) производа и локације.

Аутори истичу да *RFID* технологија у конкретном процесу директно утиче на флексибилност истог. Главни услов валидан за тачан процес скупљања информација сензором, у овом процесу заваривања, је да сваки део буде идентификован, и да му је позната позиција и оријентација.

Метод идентификације са уграђеном сензорском опремом у роботску ћелију заснована је на читању референтног броја, који се чува у *RFID* тагу. Кад је део скениран и добијен податак о референтном броју могуће је сагледати из базе материјала и процеса, у реалном процесном времену следеће: геометријске карактеристике, димензије, параметре као захтеве за обраду, и евентуално напомене за отклањање проблема и др. Најбитније информације за креирање процеса су димензије делова и врсте материјала. Аутоматизација и идентификациони процес омогућава дешавања у реалном времену у роботској ћелији која доноси одговарајуће процесне радње према делу и примењујући адекватне, тачно предвиђене, програме које робот треба да користи.

Принцип је да се *RFID* таг причврсти за делове, који треба да се прате. *RFID* антена (читач) је монтиран на станици (столу) који придржава делове. Чим се делови поставе на станицу, генерише се догађај који представља „*ARRIVAL*” (долазак). Модул „*RFID events processing*” (догађај за обраду) уноси ову промену у базу података и чува је у релационој бази података. Исти модул креира фајл који садржи информације варијанти (комбинацији) дела који је у станици. Ова чињеница је довољна да робот изабере одговарајућу геометрију путање и програм за вођење операције. Изабрана путања је управљива путем контролера робота, а представљен је модулом „*Robot event handling*” (робот управља случајним делом). После идентификације робот узима делове. Уједно се генерише „*PICKUP*” случај (догађај) који контролише извршавање циклуса. Роботи обављају манипулацију и заваривање делова у заједничком, кооперативном, деловању. Потом се делови са завареним спојем поново одлажу на станични сто. *RFID* антене (читач) сада поново генеришу (догађај) случај „*ARRIVAL*”. На крају производ се уклања из станице. Сви случајеви се обрађују у „*RFID events processing*” модулу са потребним информацијама за роботе. Комуникација је остварива преко *Ethernet* интерфејса и предвиђеним роботским контролерима. Убрзо након што је примљена основна информација она може да се прочита и идентификује део којим се управља. Тада се други робот обавештава помоћу *DEVICENET* мреже у ком су повезана оба робота која размењују сигнале.

У даљем делу текста су представљене основне идеје аутора са становишта архитектуре *RFID*-а и роботизованог састављања делова. Једну врсту дела чине подне плоче са својим варијантним решењима:

- Варијанта 1 је подна плоча нормалне дужине, пресована у челику
- Варијанта 2 је подна плоча нормалне дужине, али је пресована помоћу умирених челичних материјала
- Варијанта 3 је подна плоча заснована на челику, са продужецима закаченим на њене крајеве, што је чине дужим. Ова варијанта се користи за изградњу вагонских верзија путничких возила,

док је друга врста дела тунел са својом са својом:

- кратком и
- дугом варијантом.

Оператор пуни доње плоче на столу за пуњење у ћелији. Сто за пуњење је дизајниран тако да може прихватити све очекиване делове, на начин који омогућава да сви делови остану стабилни и позиционирани у предвиђеном положају. *RFID* антена (део читача), стављена испод стола за пуњење, користи се да детектује долазак делова у ћелији. Магнетни тагови *RFID*-а који садрже део идентификационог броја су причвршћени на сваки део пре постављања на сто.

- Оператер учитава делове за транспорт до радног стола унутар ћелије. Као што је наведено, радни сто је пројектован да прими све предвиђене делове које учествују у различитим сценаријама заваривања, тако да су искоришћене све функционалне особине помоћног прибора на делу који је коришћен за позиционирање, руковање (трнови за лоцирање, чепови итд.), дајући могућност делу да остане фиксиран у простору.
- *RFID* антена постављена испод места пуњења стола користи се за детекцију, долазак делова унутар ћелије. Магнетни *RFID* тагови или налепнице, који садрже део идентификације долазног броја, су везани за сваки део претходно. Преко антена *RFID* обавештава систем о присутности тј. доласку ажурирањем одговарајуће табеле у локалној бази података. „*ARRIVAL*” (долазака) и „*PICKUP*” (узимања) су главни догађаји које прати *RFID* систем и одговарајуће временске ознаке се такође евидентирају у бази података, чиме се омогућава директан приступ локацији дела је у оквиру погона.
- Када је идентификација делова је завршена, локални рачунар користи део *ID* да преузме особине материјала и генерише излаз на контролеру ћелије која указује на идентификовани тип материјала. Веза са роботовим контролерима може бити реализована у локалној *Ethernet* мрежи.
- Робот при руковању користи модуларни *gripper* (хватаљку) да покупи оба дела са радног стола. Хватаљка је геометријска хватаљка предвиђена да се користи за одржавање обе компоненте у одређеном релативном положају, један према другом, да би се постигла тачна геометрија финалног производа. Једноставне пнеуматске стеге су постављене на хватаљци и користе се за стезање дела.
- Присуство сензора, монтираних на модуларним хватаљкама, користе се за одређивање дужине дела. Сензори се такође користе да би обезбедили да део остаје на хватаљци током трајања процеса монтаже.
- Сигнал сензора, у претходном кораку, заједно са излазом из претходног корака, користи се од стране контролора ћелије, како би се донеле одлуке о томе који програми за руковање (манипулацију) и заваривање применом робота треба да се применити. Дужине различитих делова детерминишу различит број места завареног споја и различите трајекторије кретања пиштоља за заваривање као и самог дела током манипулације. С друге стране, различити материјали делова су преведени (пренети) у различите параметре заваривања (струја, притисак, итд.) за сваки спој вара.
- Кооперативно (међусобно усаглашено) кретање два робота иницира кретање робота са делом на такав начин који би омогућио приступачност пиштоља за заваривање свим местима заварених локација у једном циклусу. Док се крећу, роботи комуницирају један са другим преко уређаја („*DEVICENET*”) разменом сигнала, који означава иницијације (или престанак сваког покрета) операције. Манипулација и операција спајања се изводе у одређеном временском интервалу,

а кооперативност се изражава као заједничка операција оба робота на истим деловима.

- Након што су сва места споја заварена, робот за руковање поставља склопљене делове на сто и оператери их уклањају из ћелије. База складиштења *RFID* догађаја се ажурира са одласком делова и налази се у *stand by* статусу, чекајући следеће делове да се монтирају, а роботи настављају своје кретање у *home* позиције. Нови циклус почиње са пуњењем следећим деловима.

Очитавање *RFID* читача обавља се путем модула *Sirit 510* а сам процес се реализује путем *e-Trace Software* за који је задужен *Microsoft*-ов *BizTalk RFID* сервер. Улога *Sirit 510* је да процесуира таг догађаје који долазе из антена спојених са читачем, као и да управља комуникацијом са *BizTalk RFID* сервером. Две антене се користе за праћење делова који се заварују; једна за идентификацију долазних делова у ћелији и друга за њихов одлазак. За праћење кретања подне плоче и унутар тунела, коришћене су два антене. Једна антена је инсталирана близу доње плоче, а друга у непосредној близини тунела. Пасивни *RFID* је везан за подни тунел и подну плочу. *RFID* читач повезан је са два антене и са информационом системом путем *Ethernet* мреже.

Постоје две врсте случајева која могу доћи из читача:

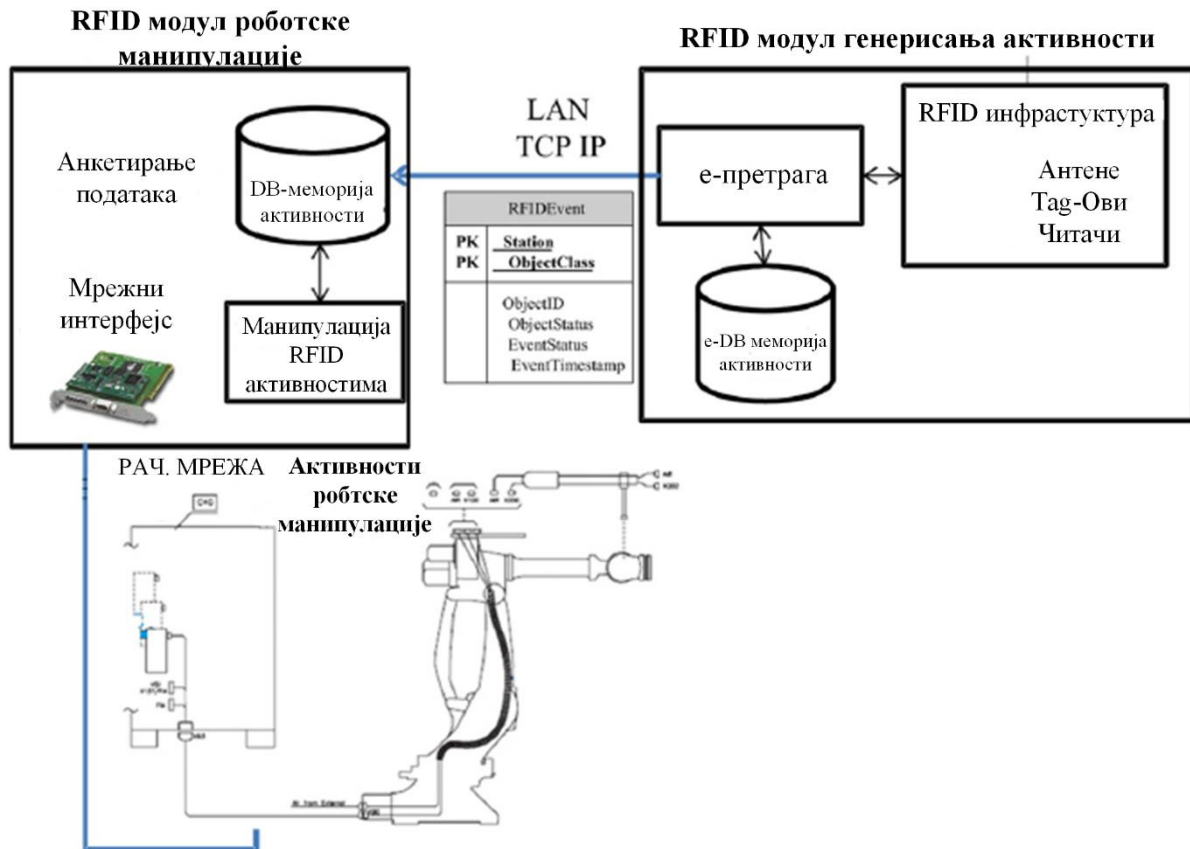
- „таг прочитан ” догађај показује да се таг налази у одређеном опсегу антене.
- „таг полази ” догађај указује на то да је таг је управо кренуо из опсега антене.

Процес *e-Trace* прима *RFID* таг догађај од провајдера *Sirit 510* и складишти их у базу података за складиштење догађаја. За студије случаја, изабрани су пасивни *RFID* тагови. Пасивни *RFID* таг прима радио фреквентну енергију која се преноси од читача да би се енергетски напојио. Према ауторима, предности коришћења пасивног *RFID* у односу на активни *RFID* таг су:

- Таг функционише без батерије; Ови тагови имају век трајања двадесет година или више.
- Трошкови израде тагова обично су много јефтинији у поређењу са активним таговима.
- Пасивни таг је прилично мали у поређењу са активним *RFID* тагом,
- Таг увек не емитује енергију, која би могла имати утицај на здравље оператера који може бити потенцијално у близини.

Генерисани догађаји се меморишу у меморији догађаја - бази података, која је под *Microsoft SQL Server*-ом 2005. Структурна база података чува информације о таговима, о категорији којој припадају, читачима и антенама повезана са њима.

Интеграциона и комуникациона архитектура је приказано на слици. 3.12.



Слика 3.12 RFID интеграциона архитектура (Sotiris Makris, at all, 2012)

База података за складиштење догађаја обезбеђује улаз за контролу редоследа операција у циклусу заваривања. Читањем података, RFID случаја модул за манипулацију ће добити одговарајуће случајеве за подну плочу и тунел и контролисаће ће наредне кораке у монтажном циклусу.

RFID модул за генерисање ствара ситуације које су дефинисане као „ARRIVAL” и „PICKUP”. На основу производне ситуације и на основу редоследа појављивања, за сваки случај, модул за RFID руковање је у стању да контролише редослед операција монтаже.

Након пристизања доње плоче у станицу, догађај се генерише и складишти у DB догађају складиштења. На исти начин, када је тунел постављен у станицу, његов долазак се такође меморише. Истовремено, модул за RFID руковање анкетира¹⁸ базу података у честим временским интервалима, који су постављени, да буду у конкретној студији случаја две секунде. Конекција се реализује коришћењем Visual Basic ADO модула базе података и ажурирањем података, а проналажење се врши помоћу SQL SELECT извештаја. Чим се оба генерисана „ARRIVAL” догађаја остваре, тада се они обрађују и обављају се следеће радње:

¹⁸ "Анкетирање" је процес у коме компјутер или контролни уређај чека на екстерни уређај да провери своју спремност или статус

- Проверава се да ли су постављени подни панел и тунел компатибилни. У случају некомпатибилности учитаних делова, шаље се порука о грешци. Таква грешка може нпр. бити учитавање другог тунела заједно са кратким подним панелом.
- Идентификација долазне варијанте је доступна чим су делови су компатибилни, и тада софтвер идентификује која је варијанта актуелна.

Софтвер разликује следе случајеве:

- Кратка подна плоча од челика и кратки тунел, је препознат као варијанта 1, кодирана је и чува се у датотеци.
- Кратка подна плоча од сендвич материјала и кратки тунел, је препознат као варијанта 2, кодирана је и чува се у датотеци.
- Дужа подна плоча од челика и кратки тунел, је препознат као варијанта 3, кодирана је и чува се у датотеци.

Чим су идентификовани делови и варијанте кодиране, ова информација се дели са контролером робота путем текстуалне датотеке. Комуникација се реализује преко засноване *Ethernet* везе.

Приликом постављања делова, проверава се евентуална грешака у идентификацији процеса, и тада процесни модул *RFID* даје поруке операторима преко једноставног корисничког интерфејса. Кораца извршеног циклуса су истакнути, представљени текстуалном поруком, док су међу наведеним и кораци који су већ завршени, али су истакнути сивим фонтом.

Као следећи корак, робот подиже подну плочу и подни тунел истовремено. Гео-хватаљка држи делове заједно у правилном положају. У овој фази, „*PICKUP*” (узимања), акција се генерише и меморише у бази података. Овај догађај се чита и чува у историју случајева. Кориснички интерфејс ажурира статус циклуса са поруком „*Tunnel and floor panel picked up by robot*” (Тунел и плочу преузео робот), и потом у наредној фази циклуса почиње да се ажурира на „*Welding in process*” (Процес заваривања).

Потом се заварени спој враћају у станицу, а нови долазак је генерисан и меморисан у бази података. Ову ситуацију пратити *модула за руковање RFID случајевима*, а сам статус циклуса се ажурира и визуализује у корисничком делу преко текстуалне поруке „*Floor welded*” (основа је заварена).

На даље следи да се, заварени под може уклонити из станице и финално транспортовати из станице обавештавајући корисника текстуалном поруком „*Operators unloaded the part*”.

Од пресудног значаја за правилно и тачно заваривање је садејство у манипулацији оба робота. Чим се фајл, који садржи информације о томе која се варијанта заварује, послат на контролер робота, тада је оствариво да контролер робота отвори и прочита фајл. На основу информација у датотеци, контролер може да идентификује шта је наредна операција која следи. У случају дужег дела који се заварује, више простора за заваривање ће морати да се користи у односу на заваривање кратког дела и сендвич материјала. У случају сендвич материјала, биће потребно фино подешавање параметара заваривања као што је проток, струја и снага коју примењује пиштољ за варење. Контролер робота врши ове операције, у реалном времену, тако што ће покренути одговарајући програм, написан у свом унутрашњем (интерном) програмском језику.

Роботи који се користе у конкретном случају су *Comau Smart, NJ 130* робот, носећи средње фреквенцијски пиштољ за тачкасто заваривање и *Comau Smart NJ 370*, носећи флексибилану геометриску хваталку која може да прими два дела у исто време. Сваки робот је вођен сопственим контролором под називом *C4G*.

3.2.3 *RFID* технологија у садејству са различитим техникама управљања применљивих код роботских система

Научна стремљења у примени *RFID* технологије у роботским системима, како индустријских робота тако и мобилних робота, тежи ка примени исте у колаборацији са неком другом техником вођења (управљања) и позиционирања. Прецизност позиционирања је ограничена, јер *RFID* не обезбеђује даљину нити даје информације са тага.

У раду *Yulu Fu et al., 2018.* предлаже се нови и иновативни приступ за локализацију покретног објекта без контакта увођењем *RFID* фазе и кластерисањем (груписањем) базираном на ласеру коришћењем података *2D* ласерског опсега. Брзина покретног објекта израчунава се на основу *RFID* фазе (*Yulu Fu et al., 2018.*). Ласерски подаци су раздвојени у различите кластере и израчунава се брзина заснована на растојању и правцу ових кластера. Затим се израчунава и анализира сличност између две брзине, и изабирају се „К” кластери који имају најбоље резултате сличности. Предвиђају се честице према брзини и правцу кретања ласерских кластера. Коначно, маса честица заснованих на „К” кластерима се ажурира и на тај начин постиже се локализација покретних објеката.

UHF RFID тагови могу помоћи у решавању неких изазова са којима се роботи суочавају у неструктурираним окружењима наводе аутори у раду „*Finding and Navigating to Household Objects with UHF RFID Tags by Optimizing RF Signal Strength*” (*Travis D, Matthew S. et al., 2014.*). Представљен је приступ у детекцији и навигацији *UHF RFID* тагованих објеката који не захтевају експлицитни модел сензора. Формулисано је проналажење и навигација према објекту као проблем оптимизације где робот мора пронаћи положај усмерене антене која максимизира снагу сигнала примљеног од циља. Развијено је и тестирано понашање робота за глобалну претрагу. Аутори, су показали методе за претраживање *RFID*-а засноване на понашању који се могу комбиновати и навигирати (вештина управљања маневрисања) *UHF RFID* објектима са тагом у реалном окружењу без ослањања на податке о обуци или експлицитне сензоре.

A. Seshanka Venkatesh и др. у раду „*Robot Navigation System with RFID and Ultrasonic Sensors*” предложили су нови метод за навигацију за покретне мобилне роботе, али се овај колаборативни метод управљања може применити и на индустријске роботе (*A.Seshanka Venkatesh et al., 2016.*). Роботски систем састоји се од *RFID* сензора са *RF* таговима и ултразвучним сензорима. *RFID* тагови се користе као оријентир за глобално планирање путање, а мапа тополошког односа која показује повезивање расутих тагова кроз околину, користи се као инструкције курса до циља. Робот се аутоматски помера помоћу скенираних података о распону док се не пронађе адекватан таг, а затим се управљање усмерава на тополошку мапу за следећи покрет.

4 МОДЕЛИ УПРАВЉАЊА ИЗВЕДЕНИХ У DFMS

Поглавље карактеришу основни правци истраживања и анализе параметарског програмирања засноване на RFID технологији у релевантној литератури као и производне архитектуре засноване на истом принципу. Модели управљања дидактичким флексибилним ћелијама (DFMC) анализирани су парцијално; као управљања технолошким поступком и управљања транспортом у оквиру флексибилног система. Како је параметарско (макро) програмирање CNC машина један од предуслова за имплементацију модела управљања дидактичких FMC заступљених у дисертацији, из тог разлога је потребно указати на интероперабилност овог начина програмирања са RFID технологијом.

4.1 Модел управљања технолошким поступком у окружењу FMC

4.1.1 Параметарско програмирање

Производни делови сложеније конфигурације иницирали су развој модернијих и савременијих управљачких јединица. Нове хардверске компоненте (нарочито процесори) и софтверска решења карактеришу савремене управљачке јединице. У овом делу рада акценат ће бити усмерен само на онај део софтвера управљачких јединица који се односи на параметарско програмирање. Параметарско програмирање, умногоме зависи од произвођача управљачких јединица. Тако под појмом параметарско програмирање срећемо следеће синониме: макро програмирање и флексибилно програмирање.

У анализи параметарског програмирања аутори G. Mirkov и др. наводе да историјски посматрано произвођачи управљачких система, у почетној фази развоја, нису имали намеру да кориснику дају могућност параметарског програмирања (G. Mirkov, Z. Bakić & M. Đapić, 2019). Такође наводе да сама потреба наметнута развојем сложенијих конструктивних решења CNC машина, сложеност обрадака, тежња ка бржем програмирању нарочито у типским/групним технологијама, неминовно је наметнула имплементацију ове врсте програмирања у софтверска решења управљачких јединица. Параметарско програмирање није стандардизовано/унифицирано и зависи од произвођача управљачке јединице, Тако је анализа показала и незнатно одступање унутар једне врсте управљачких јединица. Анализом радова релевантних за параметарско програмирање могао се извести и закључак да више сродних управљачких јединица различитих произвођача имају исти начин (тип) параметарског програмирања,

док су други произвођачи управљачких система развили посебан језик за параметарско програмирање (*Mike Lynch, 1997; Ron Gainer & Dan Murphy, 2013*).

Примарни циљ овог сегмента рада је истраживање, развој пројектовања процеса обраде применом *MACRO* или флексибилног програмирања у садејству са *RFID* технологијом. Поред наведеног секундарни циљ рада је изналажење брзих, управљању непознатих, ад хок, непредвидивих решења у процесу пројектовања флексибилних производних система која сама по себи процес приближавају адаптивном.

Из претходно изложеног, на даље, у овом поглављу, презентују се правци истраживања и анализа параметарског програмирања у релевантној литератури и укратко се дају основе *RFID* технологије, методологије и резултати истраживања.

4.1.2 Преглед литературе релевантне за параметарско програмирање

Да би се успешно параметарски програмирало неопходно је добро познавање програмирања у *G* коду. За сложенија параметарска програмирања неопходно је, додатно, познавање програмирања рачунара на нижем програмском нивоу, као и познавање процеса, односно обраде и управљање компонентама машине (*M Al'Hapis et al., 2012*).

Упоређивањем параметарског програмирања са програмирања у неком савременијем програмском језику може се закључити да ово програмирање враћа корисника на ниво програмирања програмских језика неколико година уназад (нпр. програмирање у *BASIC* програмском језику). Делотворност параметарског програмирања доноси, неоспорно, предности које се огледају у брзини рада написаног програма, мањем заузећу програмске меморије што је последица краћег програма у односу на типски, наводе у свом раду аутори *M.A. Razak*, и др. (*M.A. Razak et al., 2013*).

Нове могућност као и другачији приступ параметарском програмирању *CNC* машина омогућен је развојем *RFID* технологије. Очекивани резултати на пољу флексибилног (параметарског тј. *MACRO*) програмирања у сарадњи са *RFID* технологијом могу дати корисности у циљу: унапређења и оптимизације процеса, повећања флексибилности технолошког поступка, генерисања *CNC* програма у фази идентификације обрадака као и могућности измене/промене технолошког поступка у фази процеса обраде (нарочито у случајевима флексибилне производње). Бенефити оваквог приступа пројектовању обрадног процеса су нарочито ефикасни и флексибилни.

Према наводима аутора (*G. Mirkov, Z. Bakić & M.Đapić, 2019*) и анализи спроведеној на корисничкој литератури као и у препорукама више произвођача управљачких јединица, параметарско програмирање је највише коришћено за:

- програмирање фамилије делова,
- дефинисање специфичних циклуса,
- специфичне типске форме¹⁹ конструкција које се понављају,
- сложена програмска кретања, као што су параболе, елипсе итд.,
- специфичну инсталирану додатну опрему (нпр. опрема за мерење),
- “*Smart*” програме, и

¹⁹ енг. Feature

- макро програме који могу доносити одлуке помоћу условних исказа.

Сходно набројаном укратко се дају специфичности издвојених научних радова.

Један од значајних радова који анализирају параметарско програмирање је рад „*A Parametric Programming Technique For Efficient CNC Machining Operations*” аутора Manocher Djassemi (*Manocher Djassemi*, 1998). Аутор даје дефиницију параметарског програмирања наводећи да је: параметарско програмирање је G / M кодно програмирање у којој је позиције оса (x, i, z, a, итд.), функција посмака и брзине која могу бити одређени параметарским изразом/ма. У раду се такође износи запажање да је начин програмирања приближан програмским језицима за рачунаре као што су *Pascal* или *C*, код којих се компјутерске функције као што су променљиве, аритметички, логички изрази и програмске петље могу програмирати у параметарском облику. Такође, у раду се наводи и примена параметарског програмирања на основу груписања сличности дизајна и груписања на основу захтева обраде. Аутор предочава појмове везане за технике параметарског програмирања као што су:

- *CNC* програмирања заснована на типским облицима (енг. *Feature-Base CNC Programming*) дајући неке од модула параметарског програма као што су рупе, цепови, навоји итд., и
- типски облици који се вишеструко понављају (енг. *Repeated features*), а чију примену параметарског програмирања срећемо у ситуацијама код којих се ове карактеристике више пута појављују у различитим димензијама.

Примена оба типа програмирања огледа се у композицији модула у главном програму.

Путем примера, презентирају се оба вида програмирања. У самом раду, дају паралелно се упоредне анализе, класичног *CNC* програмирање и параметарско програмирања за оба наведена типа. Аутор истиче, у самом закључку, предности параметарског програмирања које се првенствено огледа у бржем и једноставнијем програмирању, као и смањену дужине програма.

Важну улогу у параметарском програмирању имају типови променљивих, истиче се у тексту *Variable in Custom Macro* (*Mike Lunch*, 2016). Пет типова корисничких макро променљивих класификује аутор у свом раду, наводећи их као: аргументе знаковних адреса, (*Letter address arguments*), локалне променљиве, заједничке променљиве (враћају се у пређашње стање по искључивању машине), сталне заједничке варијабле (чувају се и после искључивања машине), и системске варијабле које се користе за приступ релевантним *CNC* функцијама. Тако, издваја стабилне и нестабилне варијабле, дајући препоруку корисницима на који начин би требали да користе одређене типове ових варијабли. Даје аргументацију наводећи, да су локалне променљиве нестабилне јер по искључивању машине губе своју активност, противно стабилним варијаблама, које аутор препоручује у случајевима кад нестабилност изазива неки тип проблема. Наведена запажања доказује примерима за оба случаја. Са друге стране, пример примене локалних варијабли поткрепљује тврдњом да после завршног глодања (нарезивања или урезивања) свих навоја ове варијабле више нису потребне. Супротно овоме, сталне варијабле могу се применити за више програма, нпр. за оне за које важе исти параметри обраде, те и после искључивања машине остају активне. То значи да овакво примењеном методом корисности су очигледне и односе се смањење броја варијабли. Корисници морају имати одређену дозу опрезности при употреби варијабли. У случајевима када су присутни у употреби одређени прибори и уређаји за мерење (енг. *spindle touch probe*), део сталних заједничких варијабли мора остати стално присутан, наводи аутор.

Предмет истраживања у раду Grzegorz Nikiel је параметарско програмирање сложених несиметричних структура са посебним акцентом на срачунавање брзине извршавања програмских наредби и брзине кретања (Grzegorz Nikiel, 2009). Како је анализа имплементирана коришћењем управљачке јединице *Sinumerik 810D*, то не значи да није применљива и на друге типове управљачких јединица.

Анализирана проблематика током проучавања спроведена је на: израчунавању брзине целобројних варијабли, реалних варијабли, прорачуну комплексних функција на примеру квадратног функције (x^2), брзина калкулација за комплексне аритметичке изразе, у једној реченици и у неколико реченица са разградњом, на једноставније облике и брзине срачунавања коришћењем различитих структура наредби типа: WHILE ... ENDWHILE, REPEAT ... UNTIL, FOR.. ENDFOR, IF...GOTOB/GOTOF, као и брзина прорачуна са употребом потпрограма. У циљу целовите анализе и разумевања, дају се полазне основе параметарског програмирања за овај тип управљања и променљиве које се користе за пример оптимизације са упоредним параметрима. Изведени закључци на основу представљеног упућују на савете које би корисници/програмери који примењују параметарско програмирање требали имати у виду (не само за *Sinumerik Control*), у сврху бржег извршавања програма, а оне се превасходно односе на:

- примену операција рачунања са параметрима (R-параметрима) за које је брзина прорачуна за различите варијабле (*integer, real*) приближна,
- примену условних инструкције скока (IF... GOTOx) редуцирати у корист других структурних упутства (WHILE ... DO, REPEAT ... UNTIL итд), и
- редуцирати примене потпрограма, која се доноси одређена успорења при извршавању програма.

Као резултат експерименталног мерења срачунавања брзина операција са променљивим издвајају се у виду табеларних навода као резултати истраживања, који сажети се могу објединити у следећем:

- брзина извршавања параметарског програма применом R параметара у односу на *LUD*,
- коришћење “*heap*” и некоришћење “*heap*”, и
- непримењивање потпрограма у односу на програме,

даје повећану брзину реализације програма. Из приложеног могу се извести закључци који битни елементи програма као и начин програмирања имају преовлађујући утицај на брзину извршавања програма. Такође наводе се и примарни елементи који могу утицати на успорење брзине извршавања дела програмске структуре (нпр. нумерација блокова, коментари итд.).

У циљу свеобухватније анализе треба навести радове који се баве тематиком заснованом на специфичностима саме обраде; технолошком (специфичности групног и типског начина обраде) и геометријском (првенствено ради тачности). На даље, из тих разлога, дају се радови која поткрепљују ову констатацију.

Поред научног доприноса на пољу технологије обраде на стругу танкозидних елемената, аутори *Zhu Xiurongand* и *Zhang Guangcheng* у уводном делу о параметарском програмирању, дају табелу упоредних могућности класичног и параметарског програмирања (Табела 4.1.). У својим наводима, истичу лакоћу модификације и читљивости макро програма у односу на класично, редоследно програмирање (*Zhu Xiurongand & Zhang Guangcheng*, 2016).

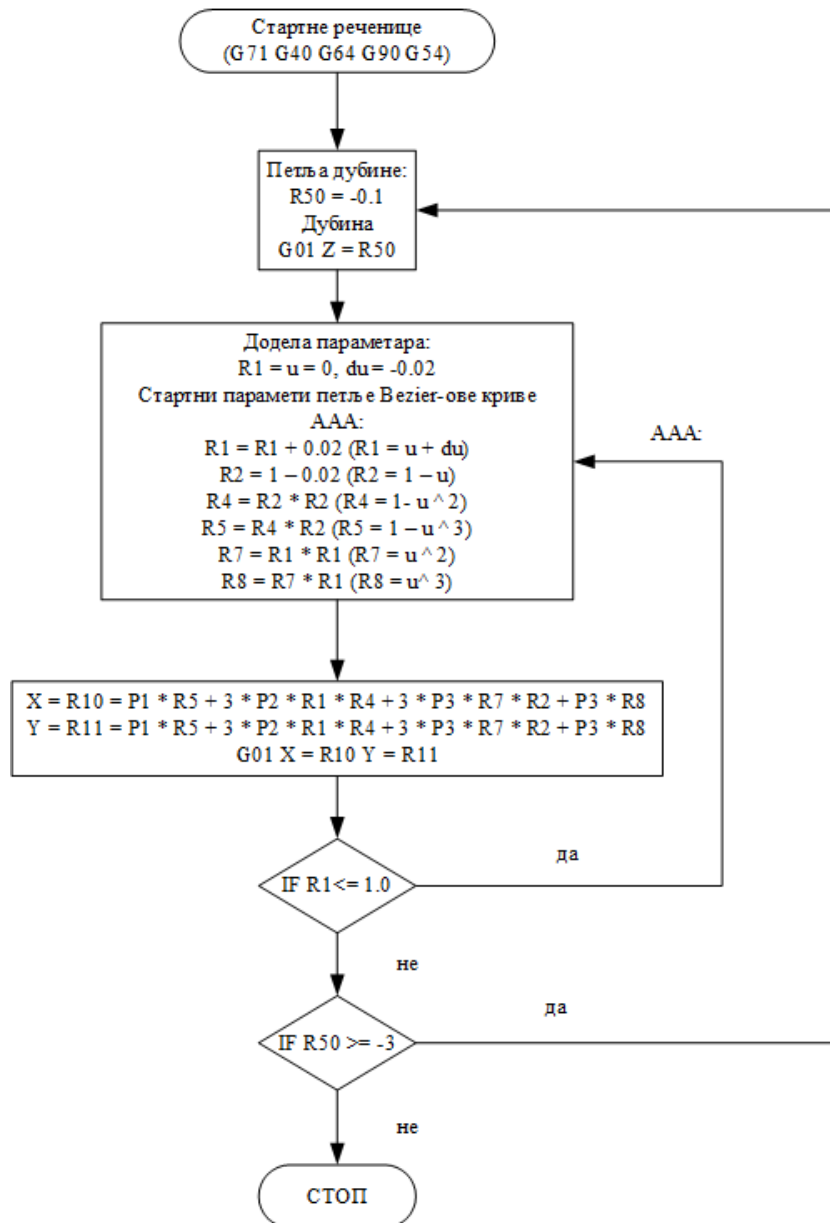
Табела 4.1 Поређење *Macro* и класичног (*Ordinary manual*) програмирања (преузето и адаптирано из рада *Zhu Xiurongand & Zhang Guangcheng, 2016*)

| | |
|--|---|
| Ручно програмирање | <i>Macro</i> програмирање |
| Користи само константе | Користе се променљиве и додела вредности променљивима |
| Не користе се операције између константи | Могуће су операције између варијабли |
| Програм је обично редоследан, и не може бити прескоћив | Програм може бити прескоћив |
| Уобичајна врста програмирања | <i>Macro</i> програмирање |

Одређену погодност за примену параметарског програмирања имају криве линије које су посебно заступљене у аутомобилској индустрији и бродоградњи, затим код алата за истискивање, алата за роло облике, профиле турбина и др. наводе и представљају у раду (*Hetal N.Fitter, et al., 2014*). *CAD* софтвери користе параметарске криве дефинишући их у границама горњег и доњег одступања у циљу добијања адекватног облика. Ако су границе одступања мање то је и повећана тачност израде коју генерише *CAM* софтвер. Параметарско програмирање захтева поседовање једначине криве преко које се управља геометријом кроз измену параметара. Тако предходно наведени рад користи као пример параметарског програмирања *Bezier* профилну криву линију, као репрезента ове групације линија. Релевантна једначина дата је у облику:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(t)$$

То имплицира да сваки $P(t)$ има x , y и z координате. Сегмент одређене дужине (нпр. u величина узима вредност 0.02 дефинисана у примеру) пролази кроз математички дефинисану криву, што значи да ће цео лук дужине криве бити подељен на 0.02 и резултујућа вредност ће бити број координатних вредности алата којим ће проћи. Написани програм се односи на примену и коришћење за *SINUMERIK (Siemens)* управљачким јединицама. Општи концепт би могао да се односи на скоро свако *CNC* управљање које може да подржи и реализује параметарске програмске функције. Тачност израђеног профила зависи од резултата спроведеног израчунавања. Путем параметара дефинисана је крива и прираст величине u . Логика програмирања на примеру *Bezier* криве приказана је алгоритамски на слици 4.1.



Слика 4.1 Логика параметарског програмирања на примеру *Bezier* криве (преузето и прилагођено из *Hetal N.Fitter, et al., 2014*)

Тачност код *CAM* технологије је заснована на горњем и доњем одступању од *Bezier* профила у чијим границама су распрострањене интерполационе линије. Код реализације *Bezier* кривих путем параметарског програмирања параметар "u" (инкремент) тада зависи од корисника. У домену корисника су и пројектовани параметри обраде. Ако се повећа броја ових параметра повећава се и број инкременталних линија, што директно утиче на тачност обраде. Аутори резултате обраде приказују путем табела 4. 2.

Табела 4.2 Резултати упоредне анализе програмирања *CAM* технологије и параметарског програмирања (преузето и адаптирано из *Hetal N.Fitter, et al., 2014*)

| Поређење Features | Крива-Крива | | Лук-Линија | | Крива-Линија | | Лук-Лук | | Лук-Крива | | |
|-------------------|-------------|-----------|------------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|--------|
| | CAM систем | Параметар | CAM систем | Параметар | CAM систем | Параметар | CAM систем | Параметар | CAM систем | Параметар | |
| Врој реченица/NC | 2055 | 53 | 1229 | 41 | 1424 | 41 | 1875 | 41 | 1754 | 41 | |
| Време обраде | 1M 9S | 1M 8S | 1M 28S | 1M 12S | 1M 24S | 1M 9S | 1M 46S | 1M 23S | 1M 37S | 1M 20S | |
| Тачност | Минимум | -0.878 | -0.202 | -0.983 | -1.023 | -0.523 | -0.632 | 0.862 | 0.523 | -0.142 | 0.093 |
| | Максимум | 0.138 | 0.906 | 0.815 | 0.593 | 0.340 | 0.847 | 0.639 | 0.794 | 0.236 | 0.998 |
| | Просечно | -0.127 | 0.129 | 0.272 | 0.019 | 0.204 | 0.264 | 0.227 | 0.055 | 0.048 | -0.058 |
| | RMSE | 0.400 | 0.255 | 0.518 | 0.267 | 0.195 | 0.121 | 0.501 | 0.249 | 0.407 | 0.334 |

На основу теоријских поставки релевантне за настале угибе под дејством компоненте продирања (F_x), а узимајући у обзир грешке настале као последицу крутости радног предмета, помоћног прибора за стезање и склопа радног вретена, аутор *Z.Q. Liu* у раду, дефинише и представља теоријске поставке које имплементира у параметарско програмирање чиме се компензују, тј. умањују грешке обраде (*Z.Q. Liu, 2001*). Свеобухватну анализу спроводи за двоосне *CNC* машине (*CNC* стругарске центре) дајући математички модел за два геометријска облика наглашавајући да су настале грешке обраде последица: геометријских грешке иманентно алатним машинама, термички индукованим дисторзијама и статичким угибима на обрадном систему проузрокованим утицајем силе резања, али и узимајући у обзир хабање алата, утицај силе стезања, и др. Резултати параметарских програма реализовани наведеном методологијом дају очекивана и неупоредива побољшања тачности на радним предметима подвргнутих експерименту, што аутори и интерпретирају дијаграмски, предочавајући могућност проширења анализе увођењем алата и геометријских и термичких грешака.

Начини добијања вредности параметара коришћених у параметарском програмирању спадају у једно од основних питања која се постављају. Највише коришћен и најједноставнији метод дефинисања параметарског програма, па и самих параметара базира се на пројектовању типског дела коришћењем *CAD-CAM* софтвера. Добијени *NC* програм се репрограмира у макро програм, што указују у свом раду група аутора (*M.A. Razak, et al., 2013*). Стандардни *CAM* софтвер користи стандард *ISO 6983* који прво идентификује машинске функције и аутоматски генерише стандардни *NC* део програма.

Већина недавно објављених радова који се баве обрадом првенствено су се фокусирала према новим стандардима *ISO 14649 (data model for computerized numerical control)* и *ISO 10303-238 (application interpreted model for numerical controllers)*. *STEP-NC* начин програмирања термилошки и синтаксно носи структуру макро програмирања, која софистицираније и сложеније разматра процес макро програмирања, јер укључује податке о алату, материјалу, стратегијама обраде и др. (*M. Weck, et al., 2001; Saša T. Živanović & Goran V. Vasilic, 2017; M. Razak et al., 2012*). Већина управљачких јединица, са становишта применљивости, није у могућности да реализује ову врсту програма јер захтева одговарајућа превођења разумљива управљању, која су репрезентована преко два сценарија; коришћењем *STEP-NC* програмирања и конверзијом у G-код, и путем *CAD-CAM* софтвера креирањем *STEP-NC* програма и потом конверзијом у G-код.

4.1.3 Методологија параметарског програмирања

У теорији резања познат је редослед операција и захвата за поједине врсте обраде. Такво чињенично стање омогућава креирање експерт знања тј. експертских система. Експертски системи проузроковали су креирање таквих *CAM* система који воде корисника при пројектовању технолошког поступка од почетка до краја, дајући му могућност избора различитих стратегија обраде у адекватном тренутку пројектовања. Ова методологија (посматрајући је и манипулативно) остала је непроменљива до данас. Пројектант технолошког поступка, обично, преко дијалог прозора у дијалогу са *CAM* софтвером, уноси адекватне податке. Резултат добијен процесом пројектовања је *CNC* програм, фајл написан у G-коду, који разуме конкретна *CNC* машина.

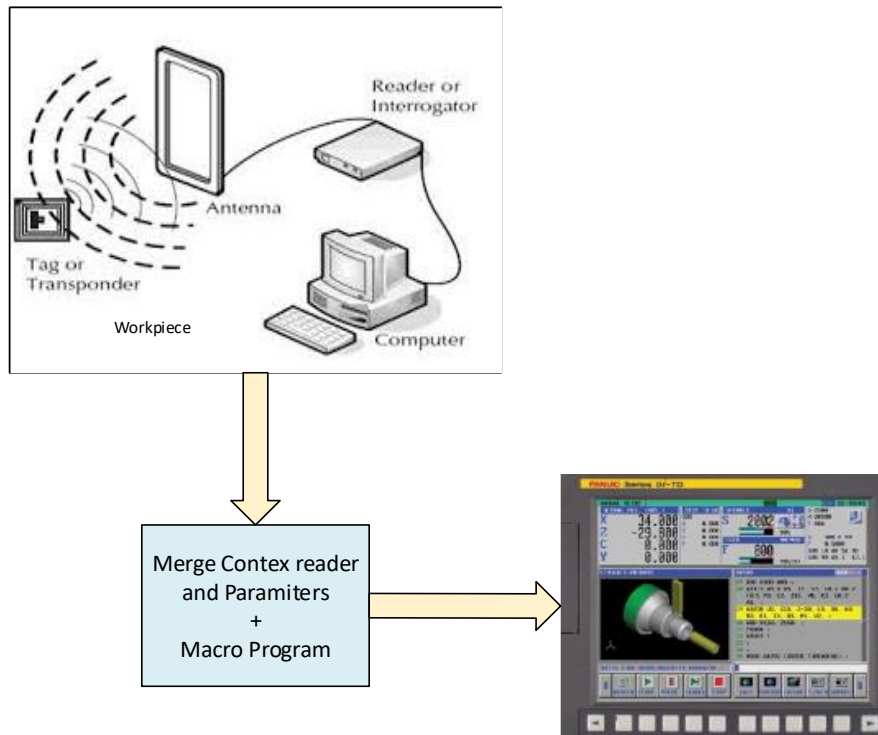
Важно је истаћи, да су ови програми важећи за конкретан део тј. посебни су јер садрже само оне стратегије обраде (операције и захвате) које је пројектант поступка одабрао. Напредком, како хардверских тако и софтверских могућности управљачких јединица *CNC* машина, створила се могућност да се напише општи *CNC* програм, који садржи све спроводиве стратегије обраде, а увођењем варијабли (променљивих величина), сличним из програмских језика (нпр. C-језика) долази се до посебности самог програма.

Конкретна могућност се нуди корисницима путем параметарског или флексибилног програмирања коришћењем наредби типа IF....THEN...ELSE, WHILE ... DO, REPEAT ... UNTIL IF...GOTOB/GOTO (IF...GOTO) уз адекватно дефинисање улазних варијабли. Интероперабилност између параметарски написаног, општег програма могуће је учинити конкретним, читањем таг-а причвршћеног за обрадак применом *RFID* технологије и њиховим спајањем у јединствени програм.

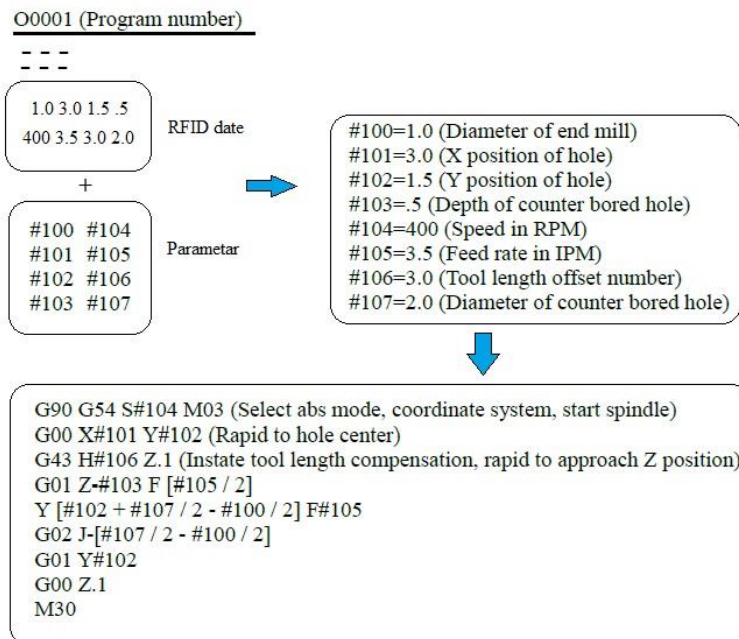
Идентификација и праћене делова у системима управљања транспортом је једна од значајнијих примена *RFID* у флексибилној производњи. Веома мали број истраживача се бавио применом *RFID* технологије у програмирању *CNC* машина. Постојећи, обично класични системи управљања у флексибилној производњи имају слабији динамички одзив система, посебно у случајевима када су делови мањег габарита, велике конфигурационе разноликости или мале учесталости појављивања. Имплементацијом *RFID* технологије у управљање флексибилним системима, могуће је сам систем децентрализовати и прилагодити га новим условима.

Сасвим извесна је применљивост *RFID* технологије у обезбеђивању геометријских и технолошких параметара коришћењем пасивних тагова. У овом раду даје се нова, сасвим другачија димензија, примене параметарског (флексибилног или макро програмирања) програмирања. Параметри обраде преузимају се из околине (окружења), тј. читају са тага који је залепљен за радни предмет, затим се повезују са релевантним параметрима који се у коначном облику спајају са макро програмом (општим програмом) што је приказано блок шемом (слика 4.2)

Најједноставнији пример горе предоченог процеса је пример макро програма за процес бушења који из окружења добија геометријске и технолошке информације *CNC* програма (слика 4.3).

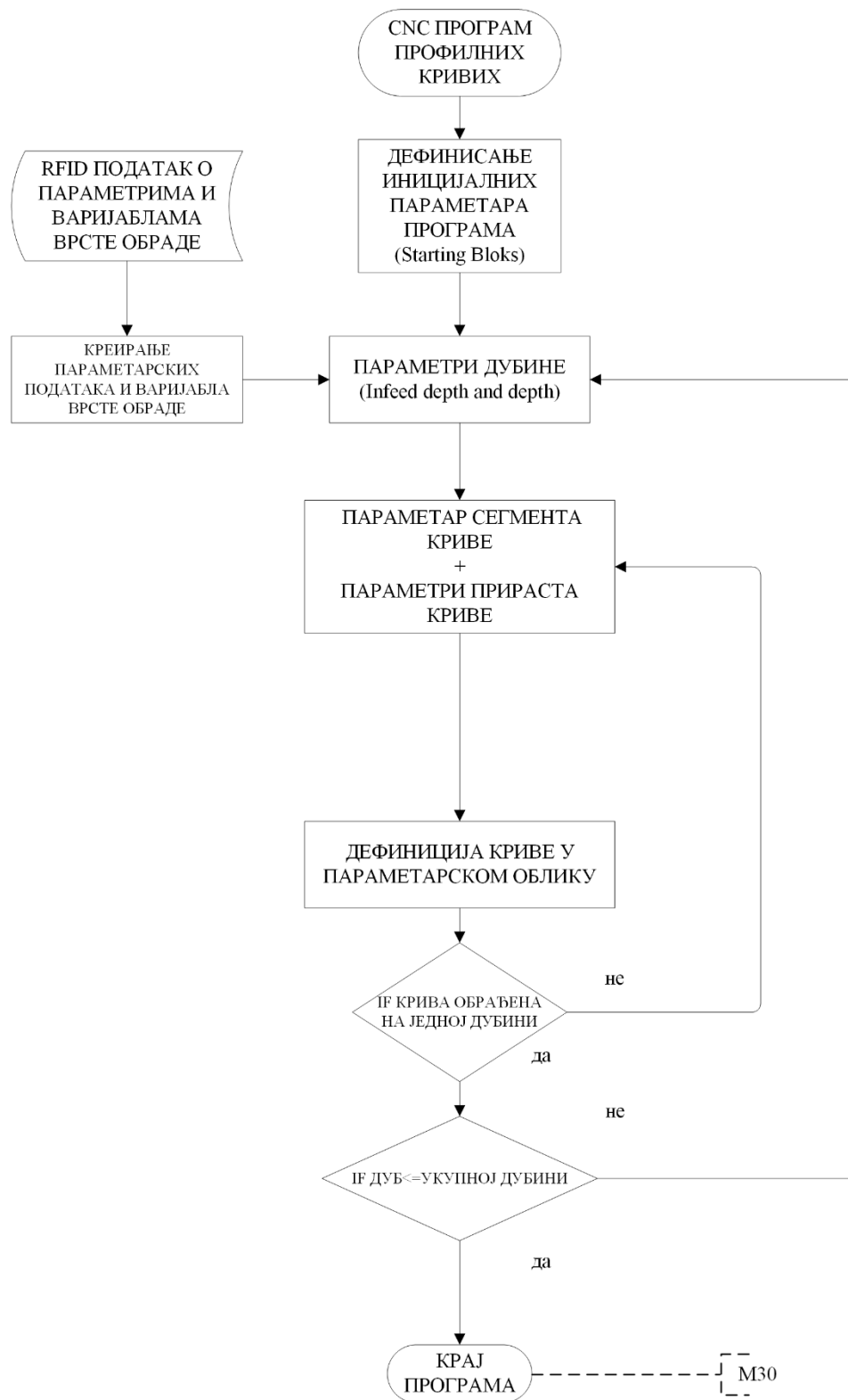


Слика 4.2 Процес спајања екстерних информација са макро програмом (преузето из рада *G. Mirkov, Z. Bakić & M.Đapić, 2019*)



Слика 4.3 Пример макро програма за обраду бушења (преузето из рада *G. Mirkov, Z. Bakić & M.Đapić, 2019*)

Пример са слике 4.3 је изведен у *Macro „B”* систему параметарског програмирања (управљачке јединице *FANUC, FADAL, ..*).



Слика 4.4 Логика програмирања кривих линија са интероперабилношћу *RFID* технологије (преузето и адаптирано према *Hetal N.Fitter et al., 2014*)

Процедура параметарског програмирања, приказана алгоритамски на слици 4.4, за случајеве кривих линија уз интероперабилност *RFID* технологије је суштински модификовани облик приказан у раду *Hetal N.Fitter* и др. (*Hetal N.Fitter et al., 2014*).

Приметно је да су податци везани за дефинисање криве, величине сегмента, дубине, као и прираст ових величина подаци који су записани на тагу, а прослеђују се путем читача управљању.

Према корисничкој литератури за управљачку јединицу *Sinumerik* и научног рада аутора *Grzegorz Nikiel*, променљиве (варијабле) које се користе у системима SINUMERIK могу бити: корисничке (*LUD*, *GUD*, и *PUD*), рачунарске (енг. *Computational*; познатије као *R* параметри), и системске (*Grzegorz Nikiel*, 2009; *Programming Guide 10/2004 Edition, Sinumerik*). *LUD* варијабле су апликативне и налазе се на почетку програма. *GUD* обухватају систем кернел варијабле. *PUD* варијабле односе се на програме и потпрограме у којима се декларативно дефинише, под јединственим именом, управљачки систем. *Computational* варијабле (*R* параметри) типа су посебне меморијске локације које су на располагању кориснику да би се у њих унеле конкретне вредности. Унета вредност придружује се конкретном параметру. На пример *R44* локацији придружује се вредност параметра 55.55. Овај податак могуће је унети у управљачку јединицу мануелним уносом оператера или програмски наредбом *R44=55.55*. Дозвољене су аритметичке операције над параметрима нпр. :

$$\begin{aligned} R4 &= R2 + R3, \\ R7 &= R5 - R6, \\ R1 &= R8 * R9, \\ R10 &= R11 / R12 \quad R13 = \text{SIN}(25.3), \text{ или} \\ R1 &= R1 + 1 \text{ (ново } R1 = \text{ старо } R1 + 1) \text{ итд.} \end{aligned}$$

У флексибилном програмирању заступљене су операције поређења које су представљене у Табели 4.3.

Табела 4.3 Оператори поређења (преузето и адаптирано према *Programming Guide 10/2004 Edition, Sinumerik*)

| Операције поређења | Значење |
|--------------------|------------------|
| = | једнакост |
| <> | неједнакост |
| > | веће |
| < | мање |
| >= | веће или једнако |
| <= | мање или једнако |
| << | мењање стринга |

Примери поређења:

```
IF R22 >= 100 GOTOF DEST
или
R23 = R22 >= 100
IF R22 GOTOF DEST
Резултат поређења R23 >= 100 се прво баферује R22
```

Логичке операције се користе за логичко комбиновање правих вредности. AND, OR, NOT и XOR (Табела 4.4.) могу генерално бити коришћене променљиве типа BOOL, које могу бити примењене на типове података CHAR, INT и REAL (Табела 4.5.) са значењима имплицитних типова конверзија. Размаци морају бити унешени између булових

операната и оператора. У логичким (буловим) операцијама важи следеће за типове података BOOL, CHAR, INT и REAL:

- 0 еквивалентно НЕТАЧНО
- није једнако 0 је еквивалентно ТАЧНО

Табела 4.4 Логичке операције (преузето и адаптирано према *Programming Guide 10/2004 Edition, Sinumerik*)

| Оператор | Значење |
|----------|--------------|
| AND | и |
| OR | или |
| NOT | не |
| XOR | обавезно или |

Типови променљивих могу бити: променљиве које дефинише корисник, аритметички параметри и системске променљиве.

Према *Rafał Golebski (Rafał Golebski, 2017)* дефинисање корисничких варијабли почиње са командом DEF коју прати синтакса:

DEF <variable type> < variable name> = <variable value>

Табела 4.5 Типови варијабли дозвољени распон вредности (прузето и адаптирано према *Rafał Golebski, 2017*)

| Тип варијабле | Дефиниција | Дозвољени распон вредности |
|---------------|--|---|
| INT | <i>Integer</i> нумеричке вредности | -2147483646 ... +2147483647 |
| REAL | Разломци са децималном тачком | $\pm (2,2 * 10^{-308} \dots 1,8 * 10^{+308})$ |
| BOOL | Логичке вредности: TRUE (1), FALSE (0) | 1 or 0 |
| CHAR | ASCII карактер | Према ASCII коду, могуће је доделити специфичне ²⁰ карактере |
| STRING | Низ карактера у загради [] | Може се дефинисати до 200 карактера |
| AXIS | Осни идентификатори (адресе) | Идентификатори осе или вретена постоје у датом каналу |
| FRAME | Геометријски подаци трансф. координатних система | |

На конфигурацију управљачког система системске променљиве имају посебан утицај. Системским променљивим је предвиђен и допуштен приступ до нултих тачака (*zero offset*), корекција алата (*tool offset*), актуелних вредности, измерених вредности на осама, *control states*, итд. Системске променљиве враћају вредности дефинисаног типа. Исто тако, изузетим (за то предвиђеним) системским варијаблама (променљивима) не могу бити додељене вредности. Име системских променљивих увек се идентификује помоћу "\$" карактера праћен специфичним именом.

²⁰ Под специфичним карактерима сматрају се ASCII карактери различитих земаља

Табела 4.6 Системске променљиве (преузето и адаптирано према *Programming Guide 10/2004 Edition, Sinumerik*)

| Прво слово | Значење |
|-------------|--------------------------|
| \$M | Подаци машине |
| \$S | Подешавања података |
| \$T | Управљање подацима алата |
| \$P | Програмиране вредности |
| \$A | Актуелне вредности |
| \$V | Сервисни подаци |
| Друго слово | Значење |
| N | NCK-глобално |
| C | Канал-посебан |
| A | Оса-посебна |

Заграда може бити коришћена у аритметичким изразима да дефинише редослед извршења за све операције и да би поништио нормалан редослед рачунања. На пример:

```
IF(R20<50) AND ($AA_IM[X]>=17.5) GOTOF DEST
IF NOT R20 GOTOB START
```

4.2 Модел управљања транспортом у флексибилној ћелији применом *RFID* технологије

4.2.1 Анализа роботских система *DFMC*

Робот са периферном осом је одабран као репрезент проучавања дидактичке флексибилне ћелије (шире *FMS*) и то у два варијантна избора:

- индустријски робот и
- реконфигурабилни робот.

Научна истраживања и напредак у роботизици отвара нове могућности у развоју и примени метода, принципа дизајна и софтверских алата који подржавају развој и рад високо флексибилних индустријских роботских система. Међутим, флексибилност и способност прилагођавања или реконфигурисања система је сложена ствар и повезана је са начином на који је систем дизајниран, радним процесима, тј. како се процеси могу одвијати и/или производити у сарадњи са другим роботима. Истраживања везана за реконфигурацију и флексибилне роботске системе често су усмерена ка аутономним или когнитивним и интелигентним функцијама.

Током година се развило неколико парадигми, у великој мери заснованих на тренутној технологији у то време. Занимљиво је упоредити парадигме и развој у области услужних работа са индустријским роботима. Генерално, индустријски роботи су се користили и

још увек се користе као унапред програмиране машине, у већини случајева са ограниченом интеракцијом сензора током извршавања задатка.

С друге стране, услужни роботи су развијени око концепта или парадигме „осећај - план - дело“, мада се подразумева да треба тражити алтернативне приступе у зависности од ситуације, попут понашања или комбинације нових приступа (*Christensen HI, 2013*). Иако су услужни роботи развијени за одређене примене и намене, развој у овој области може се описати као истраживачки, а који има за циљ генеричку употребу робота, у поређењу са индустријским роботима, који су посвећени одређеним апликацијама и употреби, а дају предност питањима као што су робусност, ефикасност, поновљивост и брзина.

Међутим, нови развој током последњих година отворио је могућности које приближавају општи концепт индустријских робота могућностима и концепту услужних робота. Одређене карактеристике тичу се сарадње система управљања и робота и укључују и производне концепте који омогућавају брзо ресетовање и промену конфигурације роботског система. Многобројна истраживања спроведена у овој области, не прати и индустријска примена. У већини случајева ограничена је примена на демонстрационе пројекте или изведене огледне конструкције. Иако роботе одликује њихова флексибилност, у потпуности аутоматизоване производне јединице генерално нису толико флексибилне колико се очекивало.

У многим случајевима, данашњи задаци робота су прилично једноставни и доследни, обим производње и величине серије су прилично велики, а ако су ови услови испуњени, аутоматизовани системи раде одлично у стабилним производним условима. Међутим, многе радне операције и процесе у индустрији је тешко аутоматизовати помоћу робота. Процеси рада су релативно сложени, обим производње је низак са потребом за честим ресетовањем. У таквим ситуацијама аутоматизација није увек могућа применом традиционалних робот решења.

Током деведесетих година (прошлог века) велики истраживачки напор био је усмерен ка томе да роботски системи постану флексибилнији и развијена је агилна производња усредсређена на велики број варијанти производа и брзо ресетовање система. Каснији радови се баве еволутивном системском парадигмом, која укључује неколико основних принципа: оптимизована функционалност, оптимизована сарадљивост, прилагодљивост и робусност (*Onori M, et al., 2011*). Ова парадигма има за циљ адресирање начина руковања и решавања непредвидивих сценарија и способна је да пружи системска решења током времена како се услови мењају. Концепт колаборативних робота у производњи привукао је многа истраживања, али стварне примене у индустријској производњи користећи концепт сарадње углавном се примењују као демонстративни. Истраживања роботских система оријентисаног на производни систем у овој области представљен је у раду (*Wang H, et al., 2010*) где су развијени принципи и модели за заједнички дизајн и симулацију који омогућавају истовремено инжењерство. Приступ заснован на аутономним јединицама за производњу и руковање који могу променити свој задатак и положај у производном погону представљен је у (*Makrisa S, et al., 2012*). Научни оквир укључује реконфигурабилне алате за аутономни флексибилни склоп са интегрисаним сензорима и мобилне роботске јединице које се могу ефикасно премештати по погону. Овакав приступ је подржан интелигентним системом управљања и надзора заснован на приступу вођеном сензорима и децентрализованим оквиром, заснован на оријентисаној архитектури. Овај приступ користи роботе који међусобно сарађују као главни покретач за реконфигурацију. Роботи који сарађују имају предност,

могућег скраћивања времена циклуса током радних процеса. С друге стране, комплексност се повећава што укључује синхронизацију покрета, проблеме оптимизације и програмирања.

Развој робота за професионалну употребу (индустријски роботи и сервисни роботи), футуристички посматрано, ће добити захтевнију улогу као и мешовите апликативне задатке (*Hvilshoj M, & Bogh S., 2011*). Тренд ће вероватно бити усмерен ка употреби робота као „паметног алата“, који може да делује као помоћник другим роботима.

У стручној литератури често се даје терминолошка аналогија између здравственог опоравка људи са могућностима опоравка робота. Тако постоји неколико концепата који су уско повезани са концептом отпорности, као што су: „самоизлечење“, „толеранција на кварове“, „самопоправљање“, „одрживост“, „поузданост“, „преживљавање“, „робусност“ и др. Робот који се сам поправља ограничен је на поправку оштећених компонената, односно на поправку оштећене компоненте помоћу спољних ресурса. Пример наведеног могао би бити случај замене подлактице робота уз помоћ другог колаборативног робота. У поређењу са самоизлечењем и самопоправљањем, опсег опоравка у отпорности је општији, што укључује више стратегија и методологија опоравка од претходно две наведене. На пример, робот који има способност самосталне поправке, предложен у раду (*Geekologie, 2013*), може поново вратити кожу без катализатора. Толеранција грешака је класичан појам у софтверском инжењерству и дефинише се као „способност пружања услуге у присуству грешака“ у (*Avižienis, et al., 2004*). Одрживост се дефинише као „способност система да претрпи/преживи или се одржи“ (*Zhang, W. J. & Lin, Y., 2010*). Одрживи робот може имати сувишне делове који се користе за замену неисправних делова. Преживелост се дефинише као „способност система или објекта да живи или постоји, посебно упркос тешким условима.

4.2.2 Реконфигурабилни роботи или роботски системи

Под појмом реконфигурабилни роботи смарају се роботи за које су везани следећи појмови присутни у литератури: адаптивност, флексибилност, прилагодљивост, подесивост, или самоприлагодљивост. Реконфигурабилни роботски системи су минимално два колаборативна робота од којих бар један има способност реконфигурације. Реконфигурабилни роботи и реконфигурациони роботски системи су врсте роботских система који имају способност да поврате своју првобитну функцију, потпуно или ограничено, након делимичног оштећења система или потребе за променом одређених карактеристика. То се постиже изменама појединих чланака.

Према (*Tan Zhang et al., 2018*) архитектура омогућава три врсте стратегија опорављања, и то: промена понашања робота, промена стања робота, и промена конфигурације робота. Развијен је нови систем прихвата (повезивање чланака) који омогућава реализацију монтаже и демонтаже у реалном времену пасивног споја и подесиве пасивне везе, а то са друге стране омогућава реализацију предложене архитектуре. Развијен је прототип у циљу анализе ефикасности предложене архитектуре и демонстрирања реконфигурабилног понашања робота. При том развијена је нова метода за синтезу конфигурације робота, да би се одредила циљна конфигурација робота, при којој робот и даље може да обавља своју првобитну функцију. Новост методе лежи у интеграцији обе дискретне променљиве као што су број модула, врста модула и обрасци склопа између модула и непрекидне променљиве као што су дужина модула и почетно место робота. Развијена је метода за планирање и заказивање реконфигурације робота која

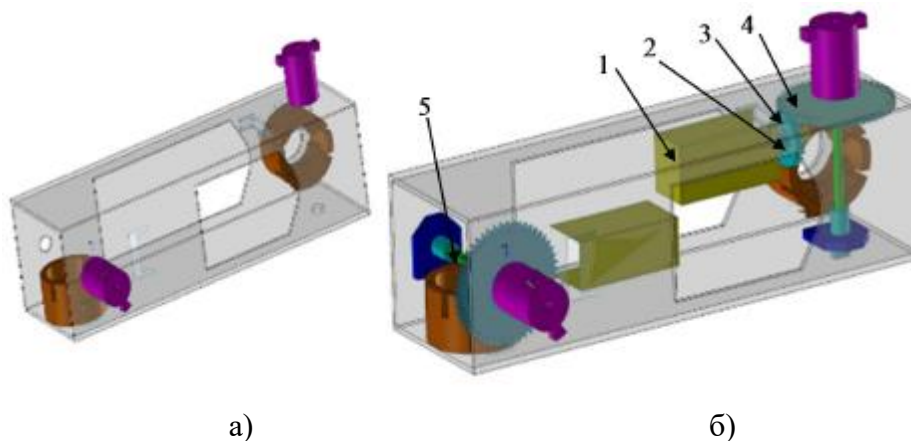
заправо мења роботску структуру из почетне у циљну конфигурацију уз минималан напор (време и енергију).

Дизајн недовољно активираниог реконфигурационог роботског система не само да смањује трошкове већ и превазилази два уобичајена квара актуатора:

- активни зглоб се откључава (чиме постаје пасивни зглоб) и
- активни зглоб је закључан (чиме постаје подесива карика).

4.2.3 Процес дизајнирања и реконфигурације модула робота

Процес реконфигурације овог типа предвиђа роботску конструкцију која ће помоћи замени чланака (модула) робота. Реконфигурациони робот се састоји од две врсте основних модула, тј. активних модула и пасивних модула. Активни модул је модул који се састоји од актуатора, сензора и прикључних система и користи се за активирање. Активни модули могу да обезбеде активирање за кретање и везе/прекида. Пасивни модул је модул који садржи само прикључни систем без икаквих електронских уређаја. Слика 4.5 илуструје активни и пасивни модул предочен конструкције, а карактерише призматични облик. Сви модули су структурирани тако да имају по два пара прикључних система на свакој од четири стране. Сваки активни модул има два сервомотора који су предвиђени за покретање зглобова за кретање и реконфигурацију. Излазна снага мотора преноси се на два прикључка преко два зупчаника до излазне осе.



Слика 4.5 Структура модула везе и заједничких модула

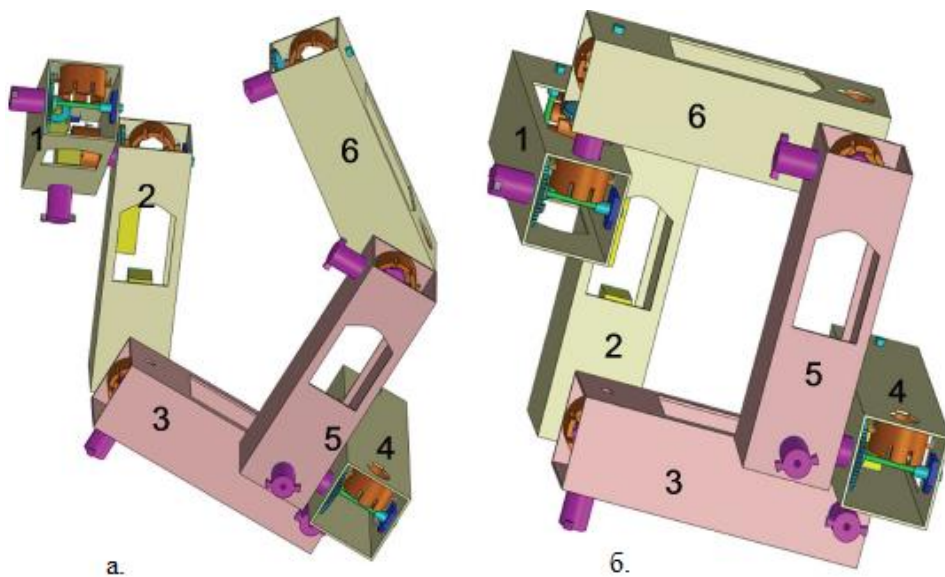
На слици 4.5а је приказан модул везе са два женска и један мушки интерфејс, а на слици 4.5б механизам активног зглобног модула, где су 1-сервомотор, 2-осовина мењача, 3-мали зупчаник, 4-велики зупчаник и 5-излазно вратило (преузето из *Tan Zhang et al., 2018*)

Аутори наводе да постоје активни зглобови, пасивни зглобови и везе, а сви модули се могу међусобно повезати како би се постигле промене у конфигурацији, што овај робот сврстава у категорију недовољно детектованих самоконфигурабилних робота. Према (*Tan Zhang et al., 2018*) архитектура недовољно самоконфигурабилног робота је следећа:

- Недовољно детектовани самоконфигурабилни робот састоји се од две врсте модула: зглобова и карика. Даље, зглобови се деле на активне и пасивне. Везу чине два модула са фиксном везом.

- Активни модули и пасивни модули су основни делови и они се не растављају.
- Робот мења своју конфигурацију кроз серију радњи „усидравања” између два модула, тј. закључавањем (формирање фиксне везе) и откључавањем (формирање пасивног зглоба) и искључивањем (раздвајањем).
- Мушки интерфејси активних модула омогућавају покретање и кретања и реконфигурације.
- Радње „пристајања” и „откачивања” захтевају линеарне и ротационе покрете, а покрећу их активни модули у ланцу затворене петље. Ако је модул мушког интерфејса активан, кретање ротације за „пристајање” може директно управљати мушким интерфејсом.

Предуслов за реконфигурацију су две гране конструкције робота које чине затворену петљу. Реконфигурација се изводи на повезиваним гранама искључивањем затворене петље. Свака грана треба да буде изводљива грана у којој суседни зглоб пасивног зглоба није пасивни зглоб. На основу структурног дизајна модула, на две гране мора бити најмање шест модула, тако да је могуће повезати модуле на сваком крају гране, па се тако формира петља. Приметно је да је ланац низ модула који су повезани заједно. Серија модула која може започети или завршити на међуповезивању ланца назива се гранама. Дакле, пасивним зглобовима манипулишу њихови суседни активни зглобови. Када ниједна грана није могуће прећи на другу због геометрије или гравитације, трећа изводљива грана ће покупити један модул и повезати се са другим модулом. На слици 4.6а. приказано је почетно стање пре реконфигурације, док слика 4.6б. приказује положај чланака после реконфигурације.



Слика 4.6 Пример реконфигурације једне гране; а-почетни положај, б-крајњи положај

Из претходно наведеног може закључити да се описана реконфигурација односи роботе који реализују самостално реконфигурацију.

Ако реконфигурабилни робот ову функцију може остварити уз помоћ другог робота који му помаже у процесу реконфигурације, тада се може говорити о реконфигурабилном роботском систему.

4.2.4 Полазна разматрања о управљању флексибилном ћелијом применом *RFID* технологије

Једна од значајнијих примена *RFID* у флексибилној производњи је идентификација и праћене делова у системима управљања транспортом. У знатној мери постојећи системи управљања транспортом *FMS/FMC*-а имају низак ниво флексибилности, споро реагују на промене производног програма тј. имају слабији динамички одзив система, посебно у случајевима када су делови мањег габарита, велике конфигурационе разноликости или мале учесталости појављивања. Предмет овог рада је побољшање модела управљања флексибилним производним системом заснованом на *RFID* технологији и рачунарској интелигенцији.

Управљање транспортом, или у стручним часописима чешће коришћени израз дистрибуција делова, идентификација делова, као и додељивање процеса идентификованим деловима представљају елементе на које се може потенцијално применити модел управљања применом *RFID* технологије. Код класичних (познатих из литературе) флексибилних производних система, систем управљања је централизован и главни рачунар или њему подређени прослеђује управљачке сигнале, вршећи измену програма у управљачким јединицама које контролише, управља транспортом и другим задацима који су му додељени. Ако су ове промене честе то постаје оптерећујуће за систем управљања. Такође систем управљања не може да реагује на непознату ситуацију која се односи на облик и димензије обрадка, нити је у могућности да реагује на технолошки поступак. Увођењем *RFID* технологије у модел управљања *FMC*-а могуће је систем децентрализовати и прилагодити управљање новим условима.

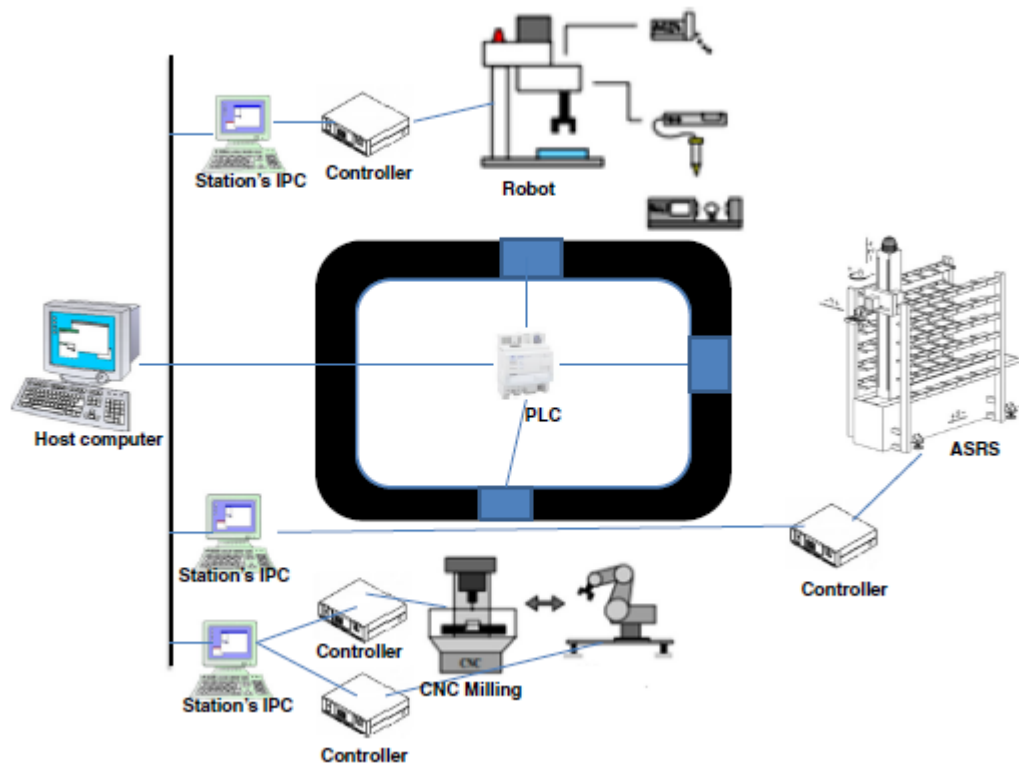
При функционисању класичних флексибилних система, у посматраном случају *FMC*, јављају се вишеструки проблеми који се могу груписати у више категорија. Једна од њих се односи на слабију флексибилност транспортног система тј. дистрибуција делова чији узроци могу потицати од централног система управљања, и нарочито је изражена код делова мањег габарита и сложеније конфигурације. Аутори *M.R Liu* и др. су се фокусирали на аквизицију основних података, комуникационих података надзора за дистрибуцију делова на бази *RFID* технологије, а комуникацију између компјутера и програмабилног контролера (*PLC*) заснивају на *TCP/IP* протоколу (*M.R Liu et al., 2011*). У претходном периоду пажња истраживача била је фокусирана на идентификацији и праћењу делова у флексибилној производњи, али може се уочити да постоје различити приступи примене *RFID* технологије. Рад *Ozan Erenay*, и др. презентира методологију засновану на виртуелној реалности за представљање обрадног система како би се омогућила анализа развоја компјутером интегрисане производње (*Ozan Erenay et al., 2002*). Глобална конкуренција захтева флексибилнију и реконфигурабилнију производњу посебно у погонима где су инсталирани мехатронски системи. Рад *R. Abrishambaf* предлаже методологију засновану на имплементацији стандарда *IEC61499* за управљање и дистрибуцију (*R. Abrishambaf et al., 2013*).

R. V. Varenji и ост. дају решења за дистрибуцију делова на бази *RFID* технологије (*R. V. Varenji, et al., 2014*). Аутори су, са становишта управљања, изложили напредна решења реконструирајући постојећу *FMS* архитектуру. Дидактички флексибилни систем чине три станице:

Станица 1: је обрадна станица која се састоји од *CNC* глодалнице и петоосног вертикалног зглобног робота (*SCORBOT-EP 9*) дизајнираног за рад у индустријској обуци.

Станица 2: је монтажна станица и станица за контролу квалитета, која има једног робота *SCORBOT-EP 14 (Intelitek, Израел)*. Робот има пнеуматску хватаљку и ради у садејству са уређајима периферне станице као што је додавач, машина за лепљење и микрометарски уређај за ласерско скенирање (*Mitutoyo, Јапан*).

Станица 3: је аутоматско регално складиште (*AS/RS*), које садржи 36 ћелија за складиштење и проналажење делова и робот намењен узимању и постављању радних предмета. Транспортер интегрисе станице за обављање руковања материјалом у ћелији (слика 4.7).



Слика 4.7 Дијаграм везе дидактичког флексибилног система (преузето из *R. V. Barenji, et al., 2014*)

Роботи са мултитајлинг контролерима пружају реално време управљања и синхронизују до 12 оса, 16 улаза и 16 излаза и такође подржавају обе самосталне апликације као софистициране аутоматизоване радне ћелије. Укупан систем је под управљањем и надзором компјутера који чини скуп међупроцесне комуникацијске станице (*IPC*), *PLC* за управљање транспортом и главни рачунар који омогућава управљање ћелијским „поруцбинама”, коришћењем *Open CIM*-а софтвера.

Различити типови производа захтевају јединствени скуп операција и поставке, и стога могу креирати различите путање у систему. Свака флексибилна станица може извршити низ операција, а његова ефикасност рада одудара од осталих станица.

Аутори истичу претходну проблематику:

- производним системом управља централна архитектура који се налази на централном рачунару; дакле, све одлуке доноси ова контролна јединица,

- станице немају аутономну управљачку јединицу за своје операције,
- у свим станицама ћелије технологија бар-кода се користи, и
- систем нема реконфигурацију у реалном времену и није флексибилан у случају разноврсности делова.

Наведени проблеми у управљачкој архитектури су побољшани увођењем *DCS* (*Distributed Control System*) коју доноси *RFID* технологија. Развој *DCS*-а са применом *RFID* допринео је решавању следећег:

- Када је део сложен, може му недостајати погодна локација за скенирање бар-кода. Уместо бар-кода могу се поставити *RFID* тагови било где на делу и скенирање тада не зависи од оријентације и правца.
- За разлику од бар кодова, *RFID* тагови могу непрекидно чувати податке за производњу и исправке.
- За разлику од бар кодова, прашина не утиче на *RFID* тагове као и прљавштина уобичајена за индустријско окружење.
- *RFID* тагови могу обезбедити континуирано праћење доласка, присуство и одлазак одређених делова у/из ћелија, омогућавајући боље управљање путањама и локацијама у монтажном окружењу.

Функционалност главних софтверских агената у предложеном систему мулти агената аутори описују на следећи начин:

Агент производње је одговоран: за помагање управљању у процесу увођења новог производа у систем, одређивању почетних производних параметара и разлагању процесних задатка на елементарне способности намењени производњи. Поседује кориснички интерфејс за помоћ при управљању да би се извршиле неопходне промене, док план не постане детаљнији и на вишем нивоу ажуриран. Овај агент је такође одговоран за слање генерисане листе могућности производа на *AS/RS RFID* капију за уписивање информација на тагу жељеног комада. Овај агент користи *Delmia* софтвер за обављање кључних производних задатака.

Менаџер агенат одговоран је за контролу коришћења и доступности свих агената одржавањем тачне, потпуне и благовремене листе свих активних агената преко којих су агенти који бораве у његовом систему су способни да сарађују и комуницирају једни с другима.

Агент за надгледање и управљање радњама одговоран је за добијање и приказивање стања сировина, производа у процесу и готових производа у стварном времену, као и статуса станица. Такође, служи као порт за долазне команде ручног надзора система у случају било каквих ад-хок догађаја и подешавања новог производа.

Агент за контролу станице реализује поступак избора погодних могућности са листе могућих на станици и тражење могућности од основних агената да ураде посао. Такође, агент контроле станице може редовно да ажурира податке о стању у бази података станице, а такође може да шаље упутства за контролу базе података.

Агент за надзор станице: Информације које одражавају производно стање у станици приказује агент за надзор станице, а историја процеса станице чува се у бази података станице.

Агент производних ресурса: представља специфичне производне компоненте, као што су роботи, транспортери, машине итд., Који су идентификовани да обухваћају све могућности, понашања у интеракцији (колективне способности) и унутрашњи статус који карактеришу физичке компоненте овог типа.

Интерфејс агент-машина: је агент који је директно повезан са физичким контролером. Делује као врста покретача уређаја агенту производних ресурса. За сваки различити контролер требао би постојати један интерфејс машине агента. *AMI* је омотач агента производне компоненте која изводи функционалности постојеће у његовом физичком контролеру.

У раду аутори дају детаљан процес категоризован у девет корака:

Корак 1: Сваки транспортер садржи листу могућности за производњу која је записана на активном тагу и присутан је у *AS / RS* капији *RFID*, а информација је формирана на основу података добијених из базе података.

Корак 2: Листа могућности производа учитава се у агент контролу станице (*SCA*; енг. *Station Control Agent*) са *RFID* капије. *SCA* прима ове информације путем агента интерфејса машина (*IMA*; енг. *Agent Machine Interface*) и шаље комплексу техника (вештина).

Корак 3: Овај комплекс верификује примљени списак способности са могућностима које може потенцијално остварити на станици и одлучује да крене у акције или не. Листа могућности станице је доступна у бази података станице (енг. *Station Database*).

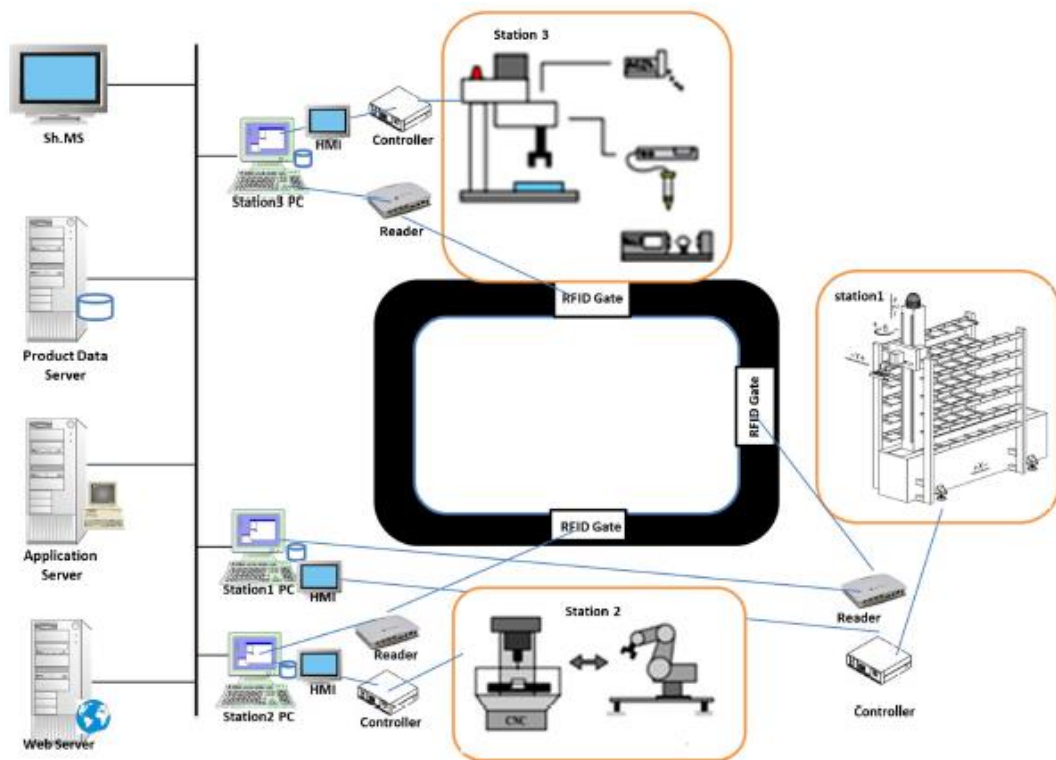
Корак 4: Ако је жељени део у станици, комплекс техника ће одабрати одговарајуће могућности из листе способности производа.

Корак 5: Комплекс техника уз помоћ модел знања (онтологија) за сваку способност додељује информације у вези са производним ресурсима и процесима и брине о ефикасној стратегији као и добром коришћењу ресурса и процеса.

Корак 6: Јединица контролног система захтева одговарајуће услуге од агента производних ресурса, а ако је агент за производне ресурсе (*MRA*; енг. *Manufacturing Resource Agent*) прихвата услуге, контролни систем складишти производне информације о ресурсима у бази станице.

Корак 7: Јединица управљачког система шаље одговарајућу команду преко интерфејса машине агента до контролер производних ресурса за обављање одређеног посла (као пример: робот станице узима етикетирани део са транспортне стазе, поставља га у помоћни прибор *CNC* глодалице и започиње процес обраде).

Корак 8: Чим је посао започет на станици, контролери производних ресурса шаљу повратне информације јединици управљачког система преко интерфејса агент машина. Када контролни систем добије повратне информације од контролора производних ресурса, контролни систем шаље ове информације „надзору станице“ ради одражавања производног процеса и складиштења у локалном систему за складиштење података.



Слика 4.8 Архитектура система после увођења *HMI* и *RFID* (преузето из *R.V.Barenji, et al., 2014*)

Корак 9: Након процеса производње, односно завршетка процеса обраде на жељеној компоненти, надгледање станице шаље историју стања компоненте у базу података.

Агенти који сачињавају архитектуру замишљени су тако да покривају флексибилност, окретност и реконфигурабилност које постављају сви дистрибуирани агенти управљања станицама којима је намењен, као и механизме комуникације потребне агентима да изврше систем дистрибуиране контроле и надзора заснован на *RFID*.

Предложена архитектура више агената (слика 4.8) садржи различите групе агената на нивоу *FMS* и станица, као и неке инжењерске алате који се користе за подршку радном механизму агената сваке групе (база података станица) или интеракције између агената (онтологија).

Аутори, у свом закључном делу, наводе да су истражени и детаљно објашњени унутрашњи механизми рада агената као и интеракције са другим агентима, са посебним освртом на агенте који омогућавају дистрибуцију контролу и надзор, као што су агент за контролу станице и агент производних ресурса. Ови агенти су чиниоци комуникационих активности *RFID*.

За производне ресурсе и уопште за *FMS*, развијена је онтологија (модел знања) заснован на производним могућностима, а сами процеси и знања, као главна класа производних могућности, моделирају се на различитим нивоима апстракције. За имплементацију је развијена хардверска конфигурација система заснована на мулти-агент архитектури која користи различите програмске језик, као и софтвер, а сви софтверски агенти и инжењерски алати су у примени у *FMS* лабораторији *Easter Mediterranean University (Famagusta, North Cyprus)*. Једна од битних карактеристика технологије засноване на

радио фреквентној технологије, истичу аутори, је сврсисходно управљање чије карактеристике су везане за скалабилности и флексибилност.

Анализа, симулација, верификација, или моделирање флексибилне производње су термини који се најчешће срећу у литератури, а углавном се односе на предвиђања, понашања флексибилних система, моделирање истих у циљу добијања релевантних података за будуће предвиђање понашања система, увођењем нових или повећањем истих производних капацитета, или пак повећање обима производње.

Вишеструка и различита истраживања урађена су у циљу имплементације и коришћења *RFID* технологије за флексибилне производне системе. Из тих разлога, при анализи истих не могу се одвојено посматрати (обрадни) процесни проблеми од транспортних проблема, али неопходно је направити јасну дистинкцију између симулације применом *RFID* технологије тј. праћења производа који су присутни у систему и модела управљања заснованог на истој технологији у коју може бити имплементирана и симулација (*Slota, A. & Malopolski, W., 2007*).

Како су истраживачи, у својим научним радовима, имали различите приступе примене *RFID* технологије то ће се, на даље, у овом делу рада анализирати научни радови који дају предност праћењу производа у систему транспорта и манипулације обрадом, а који доминантно презентују достигнућа везана за моделе управљања истих. Исто тако предности при анализи дају се принципима производње засноване на примени агената (мулти агената) чије су особине засноване на фракталности, бионичке и холонске производње као поставкама савремености и трендова које многи аутори и релевантни институти наводе у својим радовима. У циљу појашњења истих дају се основне карактеристике ове врсте производње.

Производни системи познати као интелигентни производни системи (*IMS*) требали би имати могућности флексибилности, прилагодљивости, интелигенције, док сами управљачки системи *IMS*-а морали би имати могућност прерасподеле делова у процесу. Такође, нови интелигентни уграђени уређаји, своје информације и комуникационе задатке треба да размењују са својом околином и међусобно.

Lu и сар. су изложили неке основне проблеме и решења о примени *RFID* технологија у прерађивачкој индустрији (*Lu et al., 2006*). У овом раду су истражене и презентиране апликације планирања производње, управљања и контроле квалитета, праћење производа лао и опозив производа. Такође у овом научном раду дају се поставке које су везане за одржавање система као што су: праћења трајања средстава, одржавања и поправака. Исто тако, допринос рада, односи се на: праћење залиха и видљивост као и продуктивност радне снаге, чиме се истиче важност, како и на који начин се може користи *RFID* технологија да би се затвориле празнине између тока производа и протока информација, а у циљу: ефикасности производње, смањења трошкова ланца снабдевања и давања брзог одговора на промену производног окружења.

Liu и сар. су изградили архитектуру дистрибуираног управљачког система, засновани на *RFID* технологији за масовно прилагођавање (*Liu et al., 2004*).

Pétin и сар. предложили су метод синтезе супервизора за аутоматски вођени производни процес производње и предложили су архитектуру надзорног система управљања, где се производња реализује коришћењем фабричких података у реалном времену применом *RFID* технологије (*Pétin et al., 2007*). Студија случаја је базирана на на флексибилној ћелији, илуструје приступ и отвара питања индустријске праксе.

Huang и сар. предлажу *RFID* технологију базирану на бежичној производњи (*Wireless Manufacturing-WM*), што може побољшати опсервабилност и праћење процеса производње у погону (*Huang et al.*, 2007, 2008a, 2008b). Такође доприноси овог рада односе се на унапређење перформанси система коришћењем напредне производне технологије (*Advanced Manufacturing Technology-AMT*), што се првенствено односи за аутоматску идентификацију, прикупљање и синхронизацију производних података како у производним процесима тако и у процесима монтаже.

Poon и сар. су развили одлучивање уз подршку засновану на *RFID* системима, којим прате у реалном времену стање опреме и производа као и управљање у реалном времену производног процеса (*Poon et al.*, 2007).

Qiu предложе *RFID* методологију засновану на интегрисању аутоматизованих система за праћење производње и информациони систем за управљање у фабрици као и у погону (*Qiu*, 2007).

Chen и сар. (2010) наглашавају да предложени апликациони оквир интеграције заснован на *RFID* технологији и развијени прототипни систем, демонстрира примењивост истог у погонском окружењу (*Chen et al.*, 2010). Коришћењем овог оквира, предузеће може лако интегрисати решења заснованог на *RFID* у своју *IT* инфраструктуру и производно окружење како би се олакшало управљање у реалном времену динамичких операција производње.

Liu и сар. (2009) излажу систем електронске контроле протока материјала који је развијен методологијом примене апликација *Oracle AIM* за интеграцију *RFID* технологије, *Rosetta Net* мреже и *ERP* система (*Liu et al.*, 2009). Резултати ове студије, по наводима аутора, показују да *RFID* доприноси значајнијем побољшањима процеса који смањују трошкове рада и грешке направљене од стране људи. Осим тога, систем за контролу протока материјала значајно смањује радно оптерећење оператера и оперативних трошкова рада.

4.2.5 Производне архитектуре засноване на агентима и *RFID* технологији

Са експанзионим растом рачунарске технологије, мрежних и комуникационих структура, размени информација и развојем сензора стекли су се услови за развој управљачких архитектура заснованих на агентима. У већини радова, па и у овом, коришћена су искуства и знања о агентима, наведених у ранијим поглављима као што су њихове особине: аутономија, самоодговорност, самоопоравак (*van Dyke Parunak* 1998), као главне аспекте производних система, врсте самих агената засноване на корисности: просто рефлексне, *Model-based* рефлексне агенте, *Goal-based* рефлексне агенте и друге врсте агента (*Russel et al.*, 2010). Такође сами агенти делују у име свог дизајнера или корисника којег заступају како би испунили одређену сврху (*Monostori et al.*, 2006).

Агенти су аутономни у смислу да контролишу како своје унутрашње стање тако и понашање у окружењу. Агенти показују неку врсту интелигенције, од примене фиксних правила до резонувања, планирања и учења. Такође агенти комуницирају са својим окружењем и у заједници са другим агентима. Идеална прилагодљивост, тј. способност да прилагођавају своје понашање променама у окружењу без интервенције свог дизајнера је још једна од карактеристика агената.

На основу различито осмишљених система на бази агента анализираних у литератури, а с обзиром на примену модела управљања *EAI*, пројектована архитектура агента треба да задовољи и обезбеди следеће услове:

- да поруке долазе са тага, или *web* сервиса, тј. других система предузећа и од других агената. Комуникациони канал: управља долазним и одлазним порукама за агенте. Поруке могу долазити из тага, *web* сервиса, других система предузећа, и од других агената.
- да сви софтверски агенти имају сопствену меморију којој приступају, а у зависности од различитих логичких или пословних правила, (*prontno*, или са почетом с обзиром на раније ограничење) а све у циљу правилног искоришћења (унетих или изнетих) информација. Агент складиштења обично управља уносом ових информација. Сви софтверски агенти би требало да има сопствену меморију у којој би по различитим правилима пословања/логике и тренутне/прошле изнели валидне информације.
- анализатор порука ће анализирати врсту поруке са одговарајуће листе догађаја, достављајући процесору догађај/е за обављање одговарајућег посла/задатка. Кад агент прими долазну поруку од канала комуникације, анализатор порука ће анализирати врсту поруке из одговарајуће листе догађаја, достављајући процесору догађај/е за обављање одговарајућег задатка.
- да процесор догађаја тумачи поруке декомпоновањем, достављајући их анализатору, консултујући агент складиштења за пословна правила/логике, а затим предузима одговарајуће кораке на основу типа поруке/листе догађаја и њихових одговарајућих пословних правила/логике.

(*Swaminathan JM et al.*, 1998; *Lin FR et al.*, 1998; *Jeng J-J et al.*, 2003; *Vivek Kumar & S. Srinivasan*, 2010)

Израда модела управљања заснованих на агентима је веома слична изради било ког другог модела. Идентификација сврхе модела, је прво питање на која модел треба да да одговори, а оно се свакако односи на повећање флексибилности, одвијање процеса у реалном времену. Следи анализа система, идентификују се компоненте и интеракције међу компонентама, идентификују се извори података, усвоја се алат за моделовање и на крају моделира систем.

Како модел представља сврсисходну представу реалног система, изградња модела у научним истраживањима је уобичајена у циљу разумевања одређених појава у систему, уочавају се одређена правила понашања, тако и предвиђања понашања система као одговор на промене у самом систему и окружењу. Када пројектујемо модел као верну слику система, једно од кључних питања на које треба одговорити је: које делове система треба укључити у модел. Намена модела предодређује које делове/компоненте реалног система треба укључити у модел. На самом почетку моделовања није могуће експлицитно одредити које су то варијабле (променљиве величине) и понашања система (или делова система) битне за моделовање система или његових делова. Због тога је процес изградње модела интерактиван и сукцесиван. Претпоставке везане за прву верзију модела су експерименталне и морају проћи обавезну фазу тестирања. Тест фаза изискује дефинисање критеријума који ће дати одговор на питање да ли модел представља реалну презентацију стварног система.

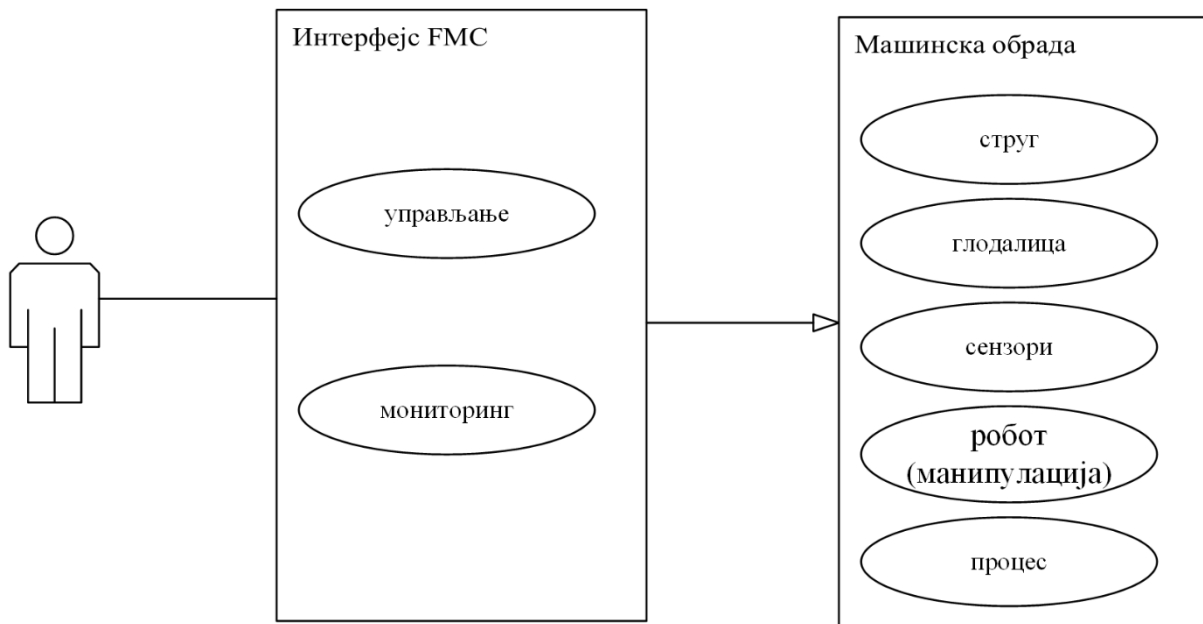
5 МОДЕЛ УПРАВЉАЊА ДИДАКТИЧКОМ ФЛЕКСИБИЛНОМ ЋЕЛИЈОМ

Модел управљања дидактичком флексибилном ћелијом презентира се парцијално; као управљање технолошким поступком, управљање транспортом и управљачки мулти агент систем DFMC заснованог на макро програмирању и RFID. Први део поглавља карактеришу разматрања о полазним основама модела управљања DFMC. Други и трећи део поглавља карактерише имплементирано параметарско програмирање и управљање транспортом као основа примењене RFID технологије. Четврти део поглавља дефинише мултиагентски управљачки систем DFMC заснован на предоченим поставкама. Мултиагентски систем DFMC предочен је за два варијантна решења роботског система; основни роботски систем и реконфигурабилни роботски систем. Такође посебно се издвајају уочене предности и ограничења реконфигурабилних роботских система.

5.1 Полазна разматрања о моделу управљања DFMC

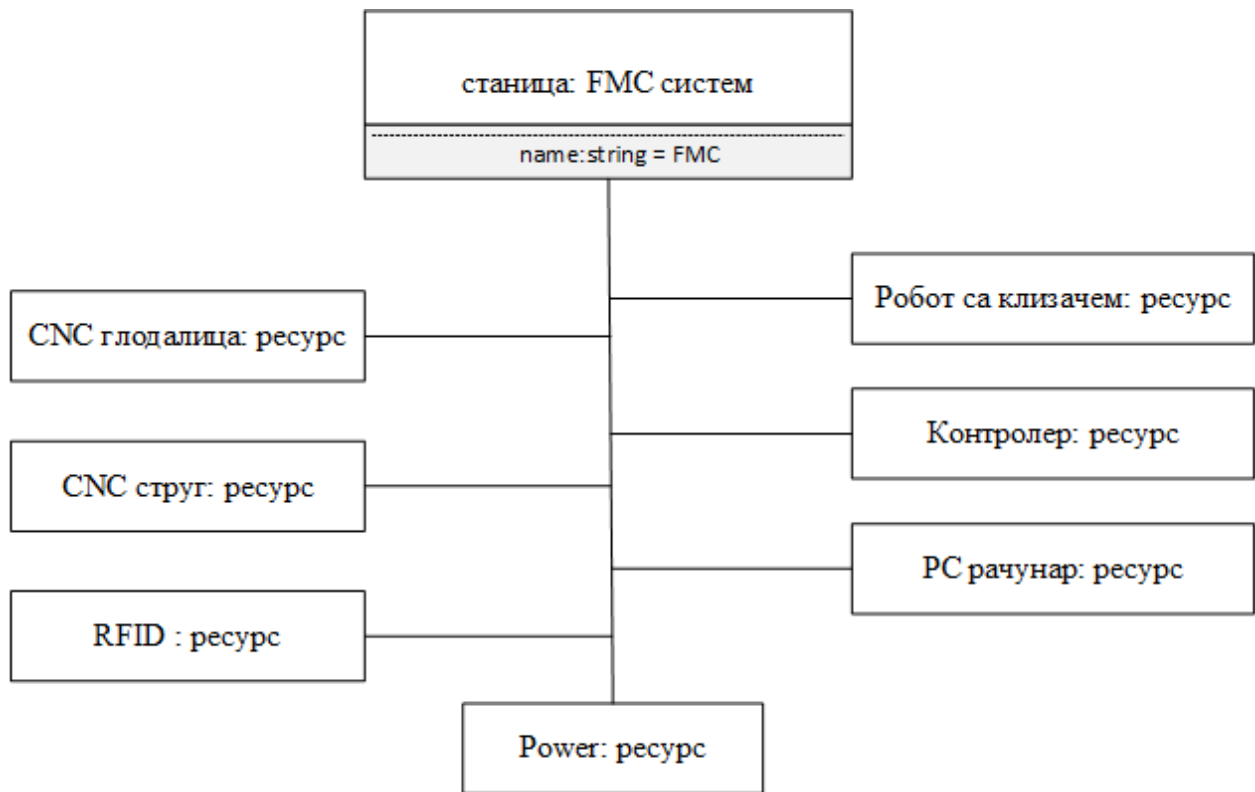
Широк спектар пројеката моделирања покреће се дијаграмима примене како би се приказало које се врсте акција догађају унутар постојећег система и систему у развоју, а све у циљу реализације идеје. Ове врсте дијаграма приказују структуру и понашање субјекта на највишем нивоу апстракције и не описују предмет детаљно. Дијаграм случаја је пресудан за приказивање односа међу актерима и коришћење случајева система. *UML* (енг. *Unified Modeling Language*) је обједињени визуелни језик за пословно и софтверско моделирање у свим фазама развоја и за све типове система, као и за моделовање којим се дефинишу статичке структуре и динамичко понашање (Моделовање апликације коришћењем *UML*–а, <https://www.vps.ns.ac.rs/Materijal/mat540.pdf>). *UML* служи да би се успоставила експлицитна веза између објектно-орјентисаних концепата и извршног кода. Сходно томе, потребна је примена универзалног језика намењеног за објектно-орјентисано моделовање. Свакако то је *UML* графички језик за визуелизацију, спецификацију, конструисање и документовање система програмске подршке као и за развој различитих информационих, комуникационих и других комплексних задатака. Користи се у различитим фазама развоја, од спецификације захтева до тестирања завршених, готових система. *UML* нотација нуди различите дијаграме за различите сврхе, моћан је и богат опцијама примене. *UML* дијаграми имају јасно дефинисану семантику која не зависи од имплементације и процеса. *UML* подржава апстракције и има широку примену и корист.

На слици 5.1 шематски је приказана улога оператора система и његове могућности у процесу комуникације са *FMC* интерфејсом, односно указује на могућа задужења оператора са становишта управљања (контроле) и надзора система. Машинска обрада је случај употребе система који је груписан и приказан у суседном правоугаонику; повезан са означеном троугластим стрелицом. Машинска обрада има пет специјализација, које су назначене елипсом у правоугаонику који садржи: обраду на стругу и глодалици, користи за транспорт и манипулацију обрадцима хелијски робот коме је придодата периферна оса, и има могућност детекције путем сензора присуство припремака на додавачима као управљање истих. Овим је обухваћена контрола процеса као и могућност читања/писања применом *RFID* технологије.



Слика 5.1 Опис интерфејса *FMC*

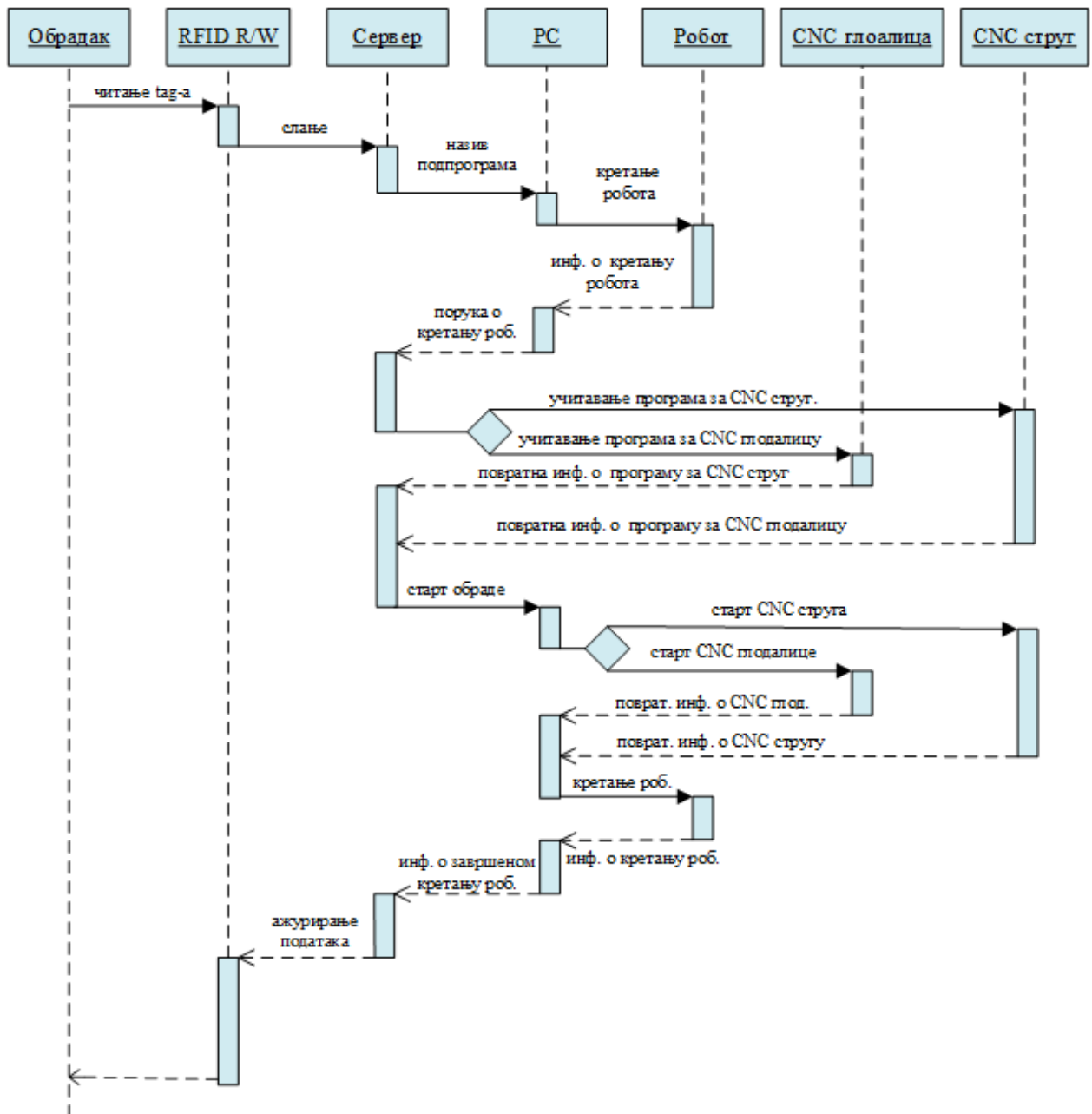
UML дијаграм објеката, слика 5.2, показује статичке аспекте блокова система. Станица садржи неколико извора који представљају механичке и електричне компоненте и повезани су путем индустријског рачунара (PC). Станица формира мрежу која је повезана са интерфејсом.



Слика 5.2 UML објектни дијаграм FMC

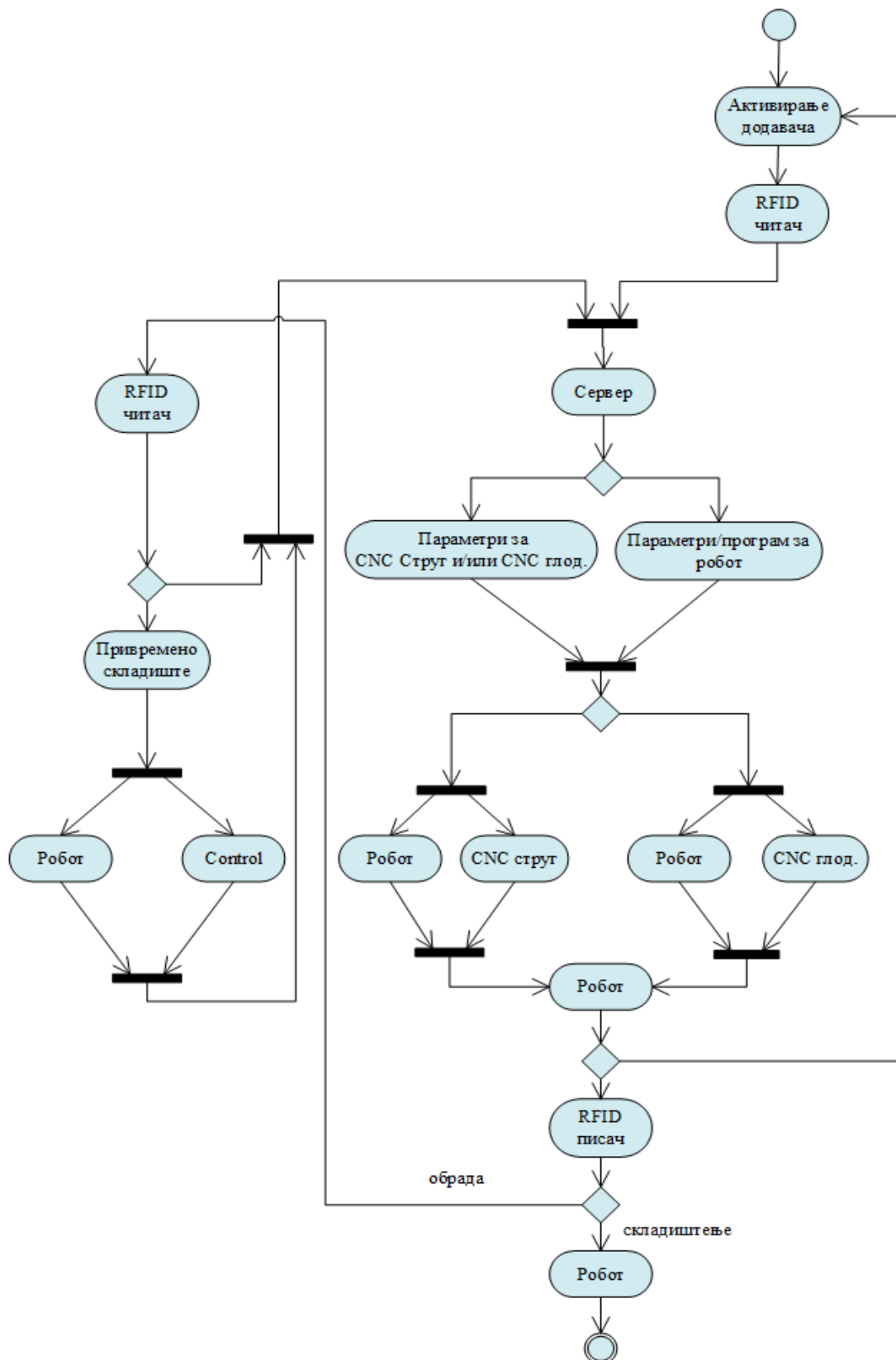
FMC садржи две CNC машине (струг и глодалицу), робот са периферном осом као транспортним системом, неколико уређаја (додавача), апликација, као и RFID читаче/писаче, који су интегрисани у индустријски рачунар (PC) и повезани су у сабирницу података (слика 5.3). UML дијаграм секвенци станице ће помоћи анализаторима и програмерима система да разумеју динамику понашања у ћелији. Сви чиниоци у систему интегрисани су у информационе податке о обрадку, примањем поруке са прилепљеног тага у циљу извршавања задатка. RFID R/W прослеђује прво поруку са дела и на основу његовог садржаја рачунару. Део поруке са RFID тага биће прослеђен одговарајућој машини, и роботу за даље акције (нпр. обраде или манипулације). Са PC рачунара контролер добија део записа намењен кретању робота. Неколико операција заснованих на различитом сценарију може се извршити (применити) у машинској обради као и у манипулацији обрадком. Из тих разлога слика 4.3 приказује најједноставнију операцију која се може применити. Све остале операције које су применљиве, а добијене као информације са тага могу се дизајнирати и извршити на сличан начин. Завршни део активности може (а и не мора) бити повратни запис о новом задатку или информацији.

Дијаграм активности је поједностављен приказ онога што се догађа за време операције или процеса. Показује кораке у операцији или процесу, који су названи активности, али и тачке одлуке (енг. *Decision points*) и гране (огранке). Користи се нпр. за приказивање пословног процеса или операције.



Слика 5.3 UML секвенцијални дијаграм FMC

На слици 5.4 приказан је дијаграм активности. Захтев за почетну активност је увођење новог обрадка које потиче од интерфејса, а упућује се додавачу обрадака. У овом делу разматрања мора се увести услов (ограничење) да припремак има залепљен таг снабдевен потребним записом. Запис подразумева параметре обраде конкретног дела који се прослеђују општем CNC програму. По сличном принципу роботска структура добија делове програма које треба придружити основном програму и/или модификоване (нове) тачке које је потребно заменити. Робот у садејству са управљивим подсистемима CNC машинама поставља обрадак у помоћни прибор за стегање, излази из зоне обраде, после чега могу наступити процесне радње и операције на обрадку. По завршеној операцији на сличан начин робот прослеђује обрадак за нову операцију (исту и или другу машину), привремено одлаже део или ако је део у потпуности обрађен следи трајно одлагање истог.



Слика 5.4 UML дијаграм активности FMC

За потребе новог задатка могућ је и нови запис на *RFID* тагу, који по сличном сценарију враћа обрадак у процес обраде. Критеријум за увођење новог дела у процес је:

- празно међускладиште и слободна *CNC* машина,
- присуство дела у привременом складишту које чека могућност обраде (на *CNC* машини која је претходно била заузета) и
- слободна *CNC* машина, за увођење приоритетног обрадка.

Посебан случај је могућност реализације истих захвата на различитим типовима машина (нпр. бушење саосних рупа на цилиндричном обрадку), што је у домену управљања. Ова посебност је применљива у ситуацији квара или планског одржавања једне од *CNC* машина.

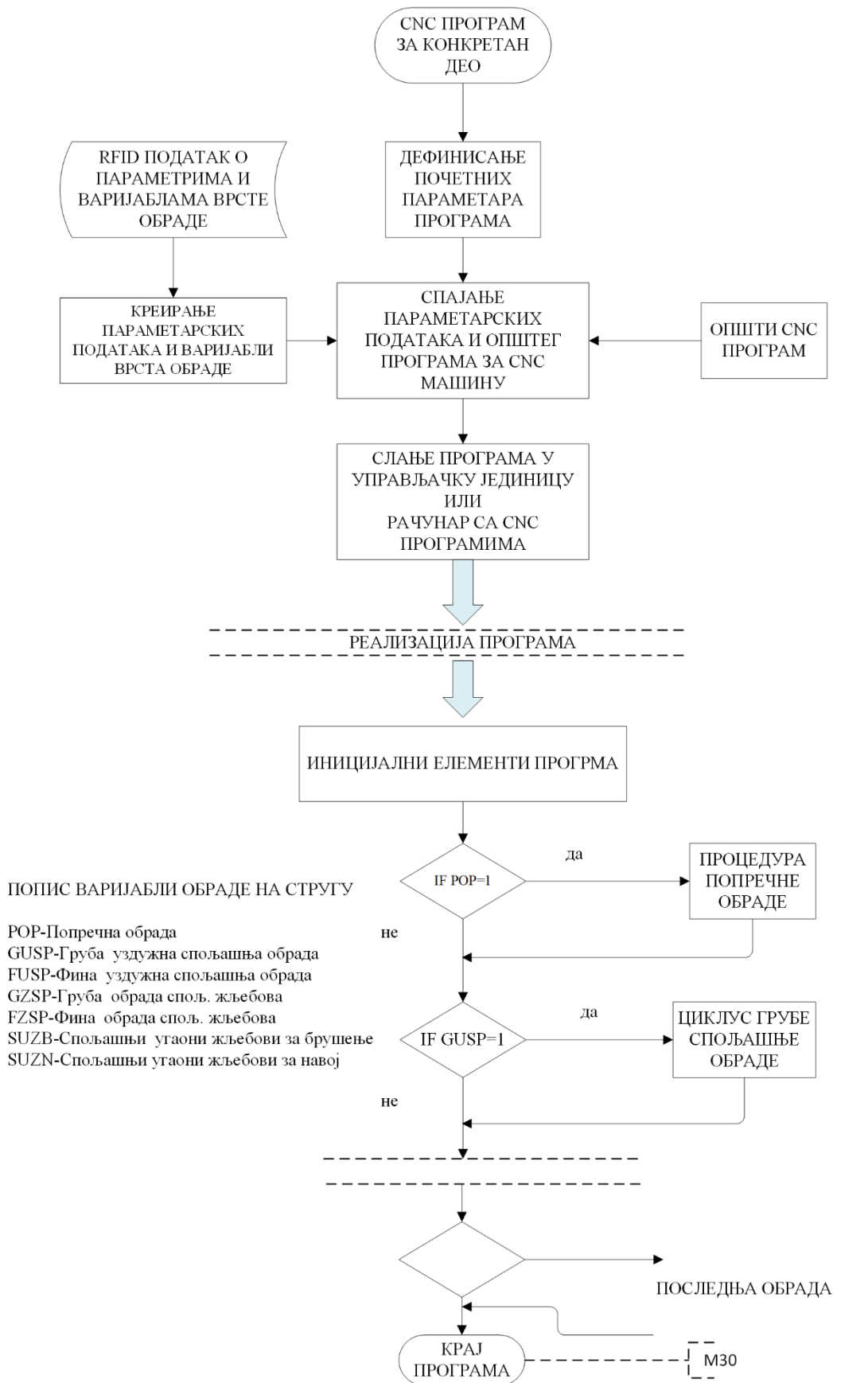
5.2 Модел управљања технолошким поступком *DFMC*

Кад је *CNC* машина укључена у флексибилну производњу тада можемо говорити о ограниченој флексибилности као последици брзе измене програма која директно утиче на оптерећење рачунарских ресурса. Недовољна брзина одзива на брзе промене производног програма код класичних мрежних окружења, на релацији хелијски сервер *FMC* (рачунар) - *DNC* рачунар - *CNC* машина може бити потенцијално надокнадива применом *RFID* технологије, која се огледа у повећању способности подређених рачунара унутар система. Тада рачунари унутар система добијају на значају у односу на пређашњу делимичну аутономну контролу, постају аутономни и нису зависни од сервера.

Ако се општем *CNC* програму додају параметри (у разматрању за *SINUMERIK* управљачке јединице то су *R* параметри) и променљиве које се односе на захвате унутар операције, који су прочитани са таг-а залепљеног за радни предмет, тада општи програм постаје посебан тј. онај који се односи на конкретан радни предмет. На слици 5.5. приказана је блок шема програма намењена обради стругањем. Технолошки поступак је познат, редослед захвата је тачно одређен, производ је експерт знања, а као такав је саставни елемент у домену класичне *CAD-CAM* технологије за обраду стругањем.

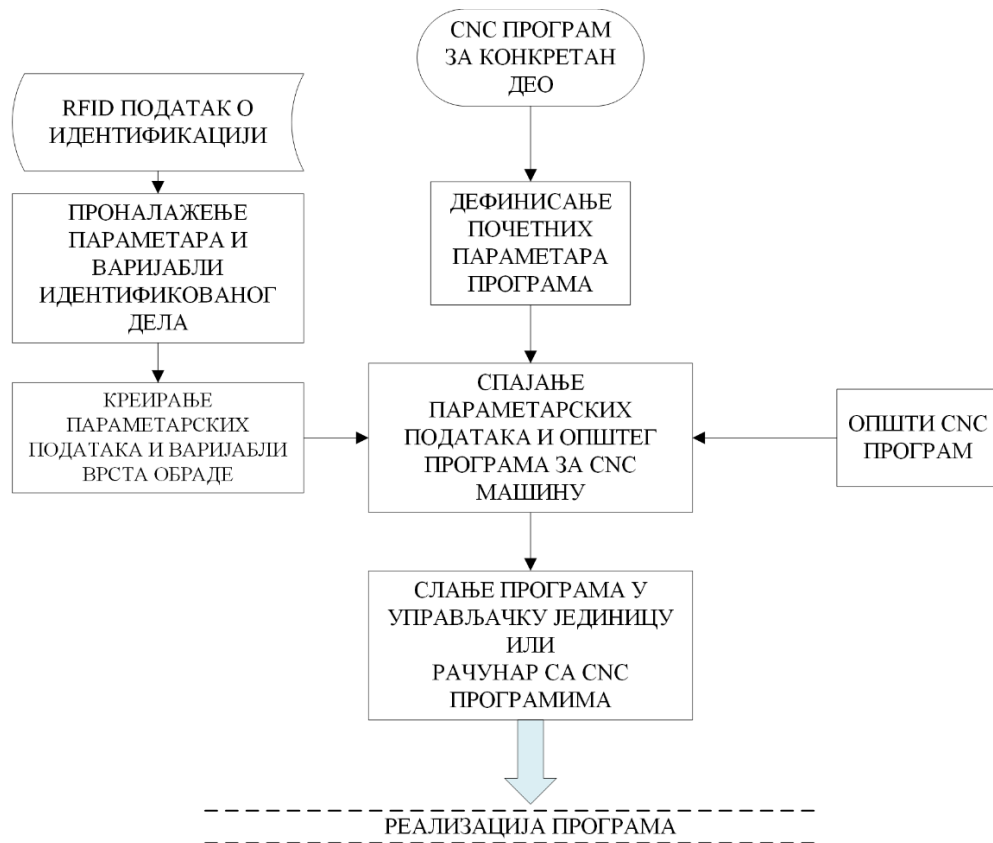
Записи прочитани са *RFID* читача преводе се у облик погодан за спајање са општим *CNC* програмом (макро програмом). Структурно посматрано новонастали фајл чине *R* параметри који кореспондирају са одговарајућим параметрима процедурама/циклусима општег програма, и варијаблама захвата обрада који могу узети вредност 0 или 1. Ако је вредност варијабле захвата 0 тада програм не извршава тај захват. Овај исказ у блок дијаграму одговара грани *IF* наредби „не”. Супротно, ако варијабла захвата има вредност 1 тада се изводи део програма намењен тој процедури/циклусу. *CNC* програм је аутономан, а редослед захвата у оквиру операције је утврђен на бази експерт знања тј. тачно дефинисан.

Ако би се указала потреба за променом редоследа захвата у операцији (случајеви кад корисник искуствено има сазнања и потребу за другачијим редоследом захвата), корисник може самостално приступити измени општег *CNC* програма, што изискује добро познавање програмирања у *G* коду и флексибилно програмирање. Ограничавајући фактор предочен у претходној методологији је капацитет меморије на *RFID* таг-у. Из тих разлога даје се модификација претходне методологије. Наиме из *RFID* таг-а добијају се информације о идентификацији радног предмета. У рачунару проналазе се претходно дефинисани параметри и варијабле које се потом спајају у јединствени програм.



Слика 5.5 Блок шема флексибилног програмирања за процес обраде на стругу

На слици 5.6 приказана је блок шема овог модификованог флексибилног програмирања. За *CNC* програме енормно великих дужина и даље остаје могућност њиховог креирања применом програмирања у *CAD-CAM* софтверу. *RFID* технологија у овом и оваквом случају примене служи само за идентификацију радног предмета, а преко ње проналажење програма у меморији рачунара.



Слика 5.6 Модификована блок шема флексибилног програмирања

5.3 Управљање транспортом у *DFMC* применом *RFID* технологије

5.3.1 Заједничке карактеристике транспортног система *DFMC*

Као репрезенте модела управљања транспортом *DFMC* посматраће се роботске конструкције дефинисане у наредна два поглавља (поглавље 5.3.2 и 5.3.3). За ова конструктивна решења су развијени модели управљања. Заједничко за оба конструктивна решења подразумева се:

- да су работи постављени на *slider*, и имају додатну периферну осу,
- да хваталке (*End effector*) имају исте карактеристике (ширина, завршетак, сила стезања, отвор хваталке и др.),

- да је контролер робота истих/сличних карактеристика (по врсти управљања, броју улазно-излазних дигиталних и аналогних сигнала и др.), и
- да је манипулативна способност слична/иста.

5.3.2 Посебне карактеристике робота у *DFMC*

Робот разматран у моделу управљања је вертикално оријентисани робот са пет окретних зглобова који може бити индустријски робот или робот са потпуном емулацијом индустријског робота. Хватаљка робота може бити:

- причвршћена за роботску конструкцију, или
- изменљива хватаљка

дајући му шест степени слободе што осигурава несметано позиционирање и оријентацију. Пример покретања чланова робота једног конструктивног решења приказана је у табели 5.1.

Табела 5.1 Структура зглобова робота

| | | | |
|--|-----------------|--------------------------------|-------|
| | Назив зглоба | Кретање | Мотор |
| | База | Ротација тела | 1 |
| | Раме | Подизање и спуштање надлактице | 2 |
| | Лакат | Подизање и спуштање подлактице | 3 |
| | Нагиб зглоба | Подизање и спуштање хватаљке | 4+5 |
| | Ротирање зглоба | Закретање хватаљке | 4+5 |

5.3.3 Посебне карактеристике реконфигурабилног робота у *DFMC*

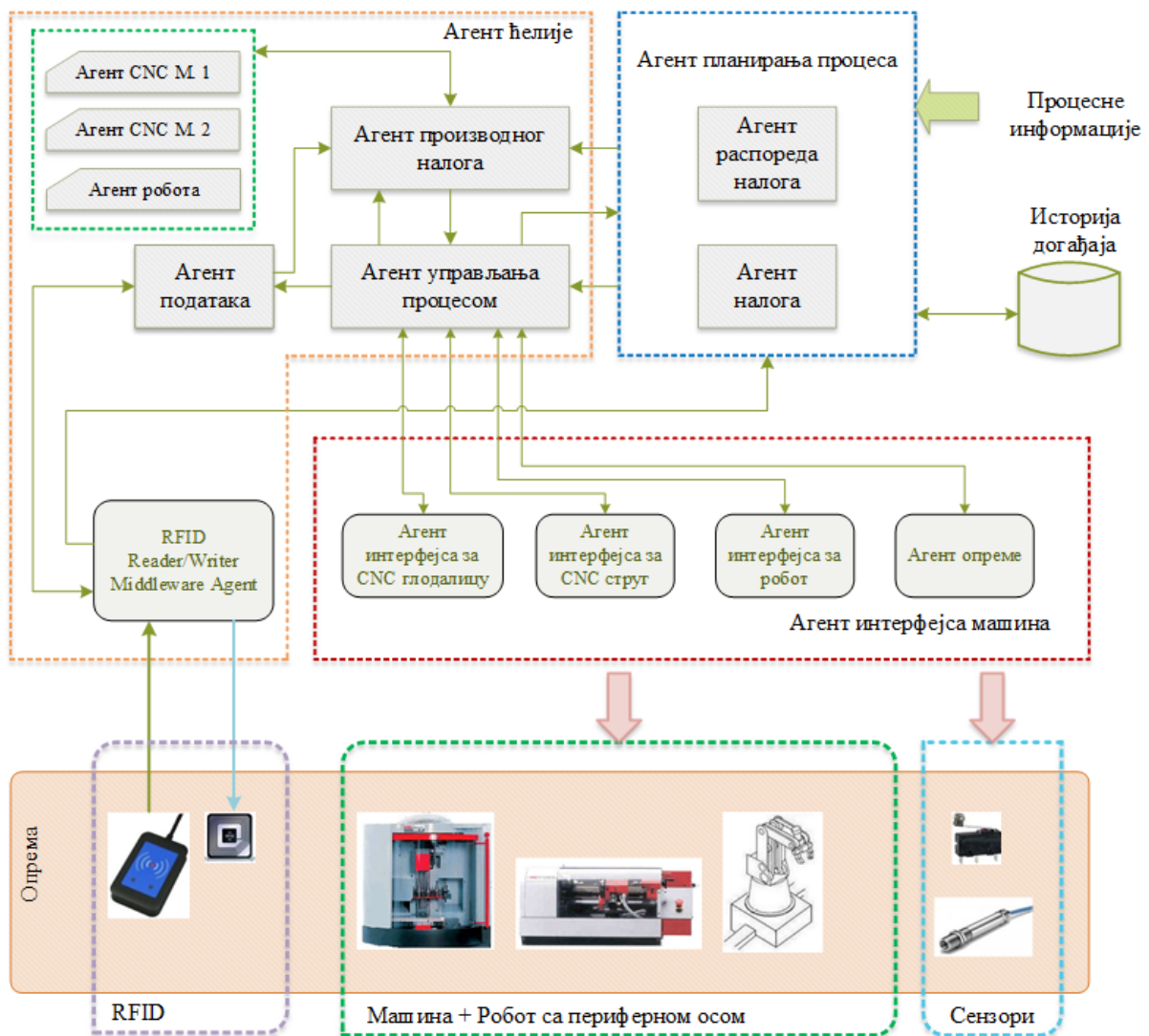
Варијантно решење у моделу управљања *DFMC* је реконфигурабилни робот истих/сличних основних карактеристика описан у предходном поглављу. Реконфигурабилност робота као његова битна карактеристика описана је у поглављу 4.2.2 и 4.2.3 и она је релевантна за модел управљања.

5.4 Мулти агент управљачки систем *DFMC* заснован на макро програмирању и *RFID*

На слици 5.7 приказана је блок шема предложеног управљачког система *DFMC*-а за *EAI* оквир који чине софтверски агенти и *RFID* тагови са специјално дизајнираном структуром података (*G.Mirkov, Z. Bakić & M. Đapić. 2019*). Улоге и задаци агената се на даље описују:

- *RFID Reader/Writer Middleware*²¹ *Agent* је слој модула углавном одговоран за управљање *RFID* читању/писању и филтрирању *RFID* података са тага. У конкретної апликацији пружа: логички интерфејс за апликацију управљајући са четири читача/писача ниског нивоа управљања. Управља податцима са *RFID* на физичком нивоу.
- *Агент података* (енг. *Data Agent*) је одговоран за прихватање/пружање података од/до *RFID Reader/Writer*. *RFID* подаци деле се у два правца, остварујући двосмерну комуникацију према: мулти-агенту названог *Агент планирања процеса* (енг. *Advanced Manufacturing Planning*) који дефинише приоритет и распоред секвенци и *Агенту производног налога* (енг. *Job Management Agent*) коме прослеђује производне инструкције. У колаборацији са другим агентима *Агент управљања процесом* (енг. *Process Control Agent*) шаље податке *Агенту података* који се на крају информационог процеса прослеђују (накнадно записују) на *RFID* таг.
- *Агент планирања процеса*, као мулти агент, ког сачињавају агенти: *Агент налога* (енг. *Scheduling Agent*) и *Агент распореда налога* (енг. *Order Scheduling Agent*). Улазне информације у *Агент налога* је информација из *RFID Reader/Writer Agent*. Секундарна условна информација битна за редослед процеса прослеђена је од стране *Агента управљања процеса*. *Агент налога* у предложеном моделу управљања, кад се посматра програмирање обрадних процеса *CNC* машина путем *Macro* (односно флексибилног) програмирања, води рачуна о генерисању распореда *NC* секвенци/операција, како једнозначно дефинисаних (редоследних-дефинисаних путем *Macro* варијабли), дуалних (нпр. *NC* секвенци које се могу реализовати на различитим типовима машина) и дужих програма из базе података. Међу фаза распореда *NC* секвенци/операција добија се на основу информација формираних на основу заузећа ресурса, а преко *Агента управљања процеса*. Распоред секвенци/операција формиран у *Агенту налогу* може бити промењен на основу задатог приоритета у *Агенту распореда налога*. На основу формирања коначне листе *NC* секвенци/операција у овом агенту формира се редослед елементарних роботских секвенци заједно са процесним информацијама опреме. Генерисани редослед прослеђује се *Агенту производног налога* и *Агенту управљања процесом*.

²¹ Посредни софтвер (енг. *middleware*, MW) је рачунарски софтвер који пружа сервисе софтверским апликацијама изван опсега оперативног система.



Слика 5.7 Ток информација унутар системског оквира модела управљања

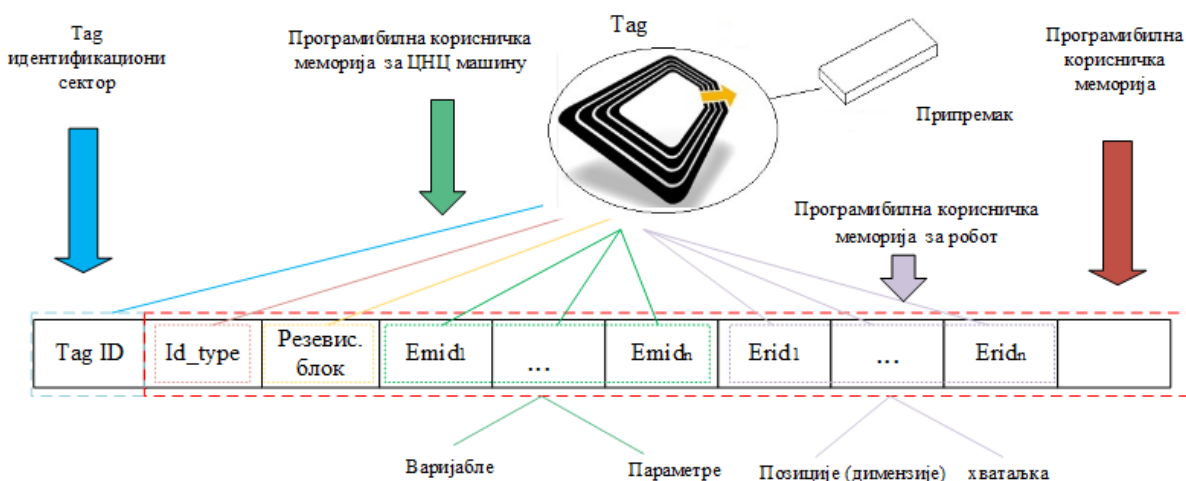
- *Агент производног налога* је одговоран за доделу производног налога *Агенту управљања процесом* (енг. *Process Control Agent*). Такође повратне информације из процеса путем истог агента доспевају до овог агента у циљу синхронизације. *Агент података* прочитане и прилагођене податке у виду параметара, претходно добијене са *RFID R/W Agent* прослеђује *Агенту производног налога* који агентима ресурса (у датом случају *Агент робота*, *Агент CNC Машине.1*, *Агент CNC Машине.2*) предаје на детаљну обраду. *Агенти ресурса* обрађују ове податке и враћају их истом агенту. Посебно треба истаћи колаборативност између *Agent-a* који имају карактер улазних информација; редоследне листе секвенци са *Агенту планирања процеса* и података за исте добијене од *Агента података*.
- *Агент машине* (енг. *Agent Machine*) на основу података из *Агента производног налога* генерише појединачне *Macro NC* програм (на основу параметара и варијабли) за захтевану редоследну секвенцу или уопштено операцију. Подаци се на даље враћају *Агенту производног налога* и прослеђују другим агентима. С обзиром да је активан општи *CNC* програм машине, то је и количина пренетих информација краћа, а процес преноса информација бржи.
- *Агент робота* (енг. *Agent Robot*) функционише на бази упоредне анализе једног пилот, репрезентативног, програма ситнијих делова сложеније конфигурације и

добитих информација са *Агент података* (односно *Агент производног налога*) о карактеристичним тачкама водећи рачуна само о промени карактеристичних величина. На пример промена геометрије и димензије обрадка, начин прихвата хватаљке, директно утичу на промену улаз/излаз карактеристичних тачака у/из зоне обраде, Задатак овог агента је генерисање и формирање роботских секвенци из задате листе. Суштински овај агент доводи у склад само оне делове секвенци потребних за манипулацију конкретног дела задржавајући делове пилот секвенци непроменљивим. Тако формиране роботске секвенце прослеђују се *Агенту производног налога* који у својој надлежности ове информације прослеђује на даље.

- *Агент интерфејса машина* (енг. *Agent Machine Interface*) чине интерфејсни агенти машина (*CNC* глодалице и *CNC* струга), робота и инсталиране опреме. То је агент који је директно повезан са физичким контролером. Прима инструкције од *Агента управљања процесом*. Делује као специфична врста управљачког програма опреме тј. уређаја за наведене производне ресурсе. За сваки различити контролер постоји један интерфејс тј. за машине и робота, док сензорска опрема је у вези са контролерима припадајућих машина/робота и уређаја.

5.4.1 Кодирање *RFID* тага

Кодирање *RFID* тага, се може посматра као део онтолошког модела предвиђеног се за размену знања (тј. задатака и информација) између агената (слика 5.8). Постојање овакве размене знања између агената уводи групацију агената у систем мултиагентности. Меморијска структура података *RFID* тага причвршћеног за радни предмет углавном се састоји од три кључне области.



Слика 5.8 Структура података *RFID* тага

На даље се излаже меморијска структура *RFID* тага:

- *Tag ID* представља јединствени код физички стандардизованог објекта, чије кодирање може да прати неки од важећих међународних стандарда или јединствени компанијски стандард,

- *id_type* је тип таг објекта и користи се за снимање класе објекта и помоћних информација које се односе на производ у циљу брже класификације истог,
- *Emid_n*, *Erid_n* су типови идентификационих догађаја. Идентификациона ознака догађаја даје простор за снимање процесних инструкција и производну генералологију за обрадке. *Emid_n* може садржати структуру производних динамичких догађаја макро (флексибилног) програма *CNC* машина и према предвиђеном карактеру записа могу бити *Variable* и *Parameters*. *Erid_n* садржи структуру стационарних или динамичких догађаја намењених роботу *FMC*-а. Предвиђени догађаји који се уписују у посебно дефинисани меморијски простор односе се на: димензије обрадка, предвиђени положаји хваталке (*gripper*) при манипулацији у зони ћелије (секвенцијални догађаји робота). Агенти могу манипулисати овим записима догађаја и у ситуацијама кад *FMC* није у могућности да се оствари процес обраде унутар система или у ситуацијама кад се процесни догађај може реализовати на другој машини.

5.4.2 Основа модела управљања *FMC*-а

Протоци информација између агената (или саставних компоненти, сензора и опреме) у даљем тексту називају се кораци догађаја. Под овим појмом обухваћена је њихова међусобна интеракција, модификација и трансформација података (онтолошка или класична). Следе кораци догађаја:

- Радни предмет са залепљеним *RFID* тагом преноси претходно записане податке на *RFID* читач.
- *Агент података* на информационом нивоу има задатак да добијене податке прилагоди технолошким и манипулационим потребама. Како су програми за *CNC* машине у форми *Macro* (флексибилног) програма, то овај агент има задатак да варијабле, које дефинишу врсту обраде упуту ка *Агенту планирања процесом* иначе мулти агенту. Други део података чине параметри обраде који се прослеђују *Агенту производног налога*. Величине манипулационих података и габаритне димензије такође се прослеђују за даљу обраду овом агенту.
- *Агент планирања процеса* (енг. *Advanced Manufacturing Planning*) мулти агент на основу примљених варијабли у оквиру *Агент налога* креира редослед *NC* секвенци за машине водећи рачуна о генералном макро програму који је у управљачкој јединици машине. Варијабле које узимају вредност 1 карактеришу постојање секвенце и обрнуто. Овај агент прави листе обрада према врсти *CNC* машина. *Агент распореда налога* анализира могућност реализације формираних листа, водећи рачуна о приоритетним секвенцама (у крајњем случају обрадцима), води историју урађених листа и враћа *Агенту управљања процеса* *NC* секвенце које се не могу реализовати у наведеној *FMC*. Овим је формирана коначна листа *NC* секвенци за обе машине која у својој коначности зависи и од података о заузећу машина добијених од *Агента управљања процесом*. Коначна листа *NC* секвенци заједно са преузетим податцима о манипулацији радним предметима (положај, место прихвата радног предмета и његова промена) даје агенту способност формирања листе транспортних (манипулационих) секвенци робота. Тада постоје две листе, тј. листе *NC* секвенци и роботске секвенце. Излазна информација из *Агента планирања процеса*, иначе мулти агента, је јединствена

листа добијена логичком анализом процеса, а формира се на основу претходно дефинисаних листа. Ове информације упућују се *Агенту производног налога*.

- *Агент производног налога* примљене податке од стране *Агента података* и *Агента планирања процеса* сукцесивно распоређује према: *Агенту робота*, *Агенту CNC Машина.1* и *Агенту CNC Машина.2*. У овим агентима формирају се коначни релевантни флексибилни макро програми: за *CNC* машине (нпр. за управљачку јединицу *Sinumerik 840D* је програм који садржи *R* параметре у којима су дефинисани циклуси и варијабле) и скуп роботских потпрограма (тј. роботских секвенци) који се преплићу са активностима *CNC* машина. *Агент производног налога* према урађеном прослеђује ове информације *Агенту управљања процесом*.
- *Агент управљања процесом* на основу информација добијених од *Агента производног налога* уз помоћ *Агента интерфејса машина* предаје/прима информације од стране робота, *CNC* машина и пратеће опреме (уређаја) који су инсталирани у *FMC* (сензори, додавачи, микропрекидачи, и др.). Овај агент има задатак да нереализоване процесне *NC* секвенце преко *Агента података* и *RFID Reader/Writer* врати на таг радног предмета. Заузеће машинског ресурса овај агент прима и прослеђује *Агенту планирања процеса*.

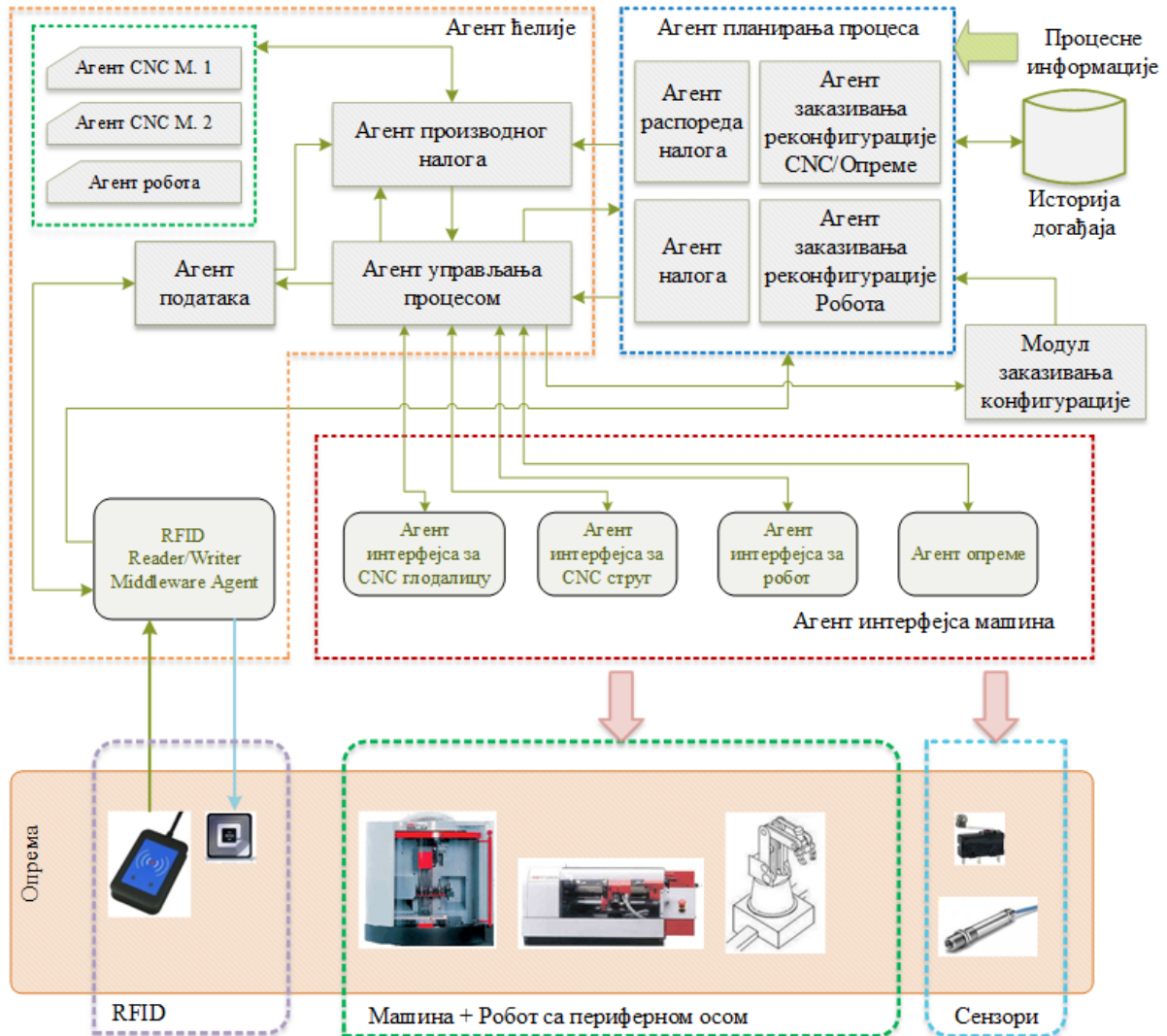
5.4.3 Мулти агент управљачки систем *FMC* заснован на макро програмирању, реконфигурабилном роботском систему и *RFID*

У поглављу 5.3.1 предложени модел управљања заснива се на роботу са 5 *DOF* који је постављен на периферној додатној оси; *slider*, која омогућава опслуживање обе *CNC* машине. Ако се уместо робота таквих карактеристика постави реконфигурабилни робот или реконфигурабилни роботски систем, описан у поглављу 4.22 и 4.23, тада се може сматрати да је модел управљања додатно унапређен. Транспортни систем са таквим карактеристикама постаје самоприлагодљив, подесив, еластичан и адаптивни роботски систем. За такав модел управљања важи модификовани модел управљања, који узима у обзир услове и правила за реконфигурацију транспортног система *FMC*.

На слици 5.9 предочен је модификован системски оквир модела управљања *FMC* са реконфигурационим роботом, агентима и применом технологије *RFID*. У односу на шему са слике 5.7 уочавају се два агента унутар агента планирања процеса; *Агент заказивања реконфигурације робота* (енг. *Scheduling Robot Reconfiguration Agent*) и *Агент заказивања реконфигурације CNC M/Опreme* (енг. *Scheduling CNC M/Equipment Reconfiguration Agent*). Посебну целину чини *Модул заказивања конфигурације* (енг. *Scheduling Configuration Modul*).

Агент управљања процесом, добијене информација од *Агента интерфејса машина*, прослеђује *Модулу заказивања конфигурације*. *Модул заказивања конфигурације* на основу добијеног типа информације упућује конкретан захтев за реконфигурацију *Агенту за заказивање реконфигурације робота* и *Агенту заказивања реконфигурације CNC M/опreme*. На пример за додатну, ванстандардну допуну додавача материјала (пнеуматског и/или гравитационог) могуће је реконфигурисати робот тако да му се

продужи подлактица или надлактица и тиме омогући допуну (попуну) припремцима. Овај пример указује на планску реконфигурацију транспортног система у ком учествује само *Агент заказивања реконфигурације робота*.



Слика 5.9 Ток информација унутар системског оквира модела управљања реконфигурационог роботског система

Пример непланске реконфигурације је могући квар периферне осе робота. Последња информација добијена о положају робота по периферној оси је употребљива информација за конкретни захтев планирања роботске реконфигурације. Слично томе, морају се обезбедити одређене процесне радње ван протоколарних које имају за циљ наставак процесних операција и радњи у новонасталој ситуацији. Код непланских реконфигурација указује се потреба заступљености оба агента за реконфигурацију; *Агент заказивања реконфигурације робота* и *Агент заказивања реконфигурације CNC M/Опreme*.

5.4.4 Кодирање *RFID* тага у планској и непланској реконфигурацији

Меморијска структура података *RFID* тага причвршћеног за радни предмет суштински се не мења у односу на случајеве кад није заступљен процес реконфигурације робота. Планску реконфигурацију са становишта употребе *RFID* технологије пожељно је користити као реконфигурационе моделе у меморијском делу простора *RFID* тага (посебно дефинисаног), док се предвиђени догађаји уписују на исти начин као у ситуацијама кад не постоји захтев за реконфигурацију.

Модел непланске реконфигурације захтева идентификацију и повратну информацију грешке/квара од управљачког система (положај радних органа, тип грешке, могућност утицаја на грешку, систем опоравка и др.). Основно питање у таквим ситуацијама је могућност и степен опоравка система и могућност употребе *RFID* технологије у таквим ситуацијама.

5.4.5 Предности и ограничења реконфигурације транспортног система

RFID систем је динамичан мрежни систем који је у стању да преноси информације у реалном времену процеса, стварајући предуслове за: откривање кварова, анализу узрока квара и способност опоравка система. Подаци о врсти и природи оштећења морају бити познати *RFID* систему или детектовани у *FMC*. У предложеном моделу управљања ова оштећења могу потицати из подсистема: *CNC* машине, роботи, улазно / излазна опрема и управљања.

Како је немогуће анализирати све случајеве опоравка производње *FMC*-а, на даље су представљене само неке карактеристичне. Откривени лом (оштећење) резног алата, категорисан као процесна информација, анализира се као карактеристична *NC* секвенца *MACRO* програма у којој оштећени алат учествује. Следећа могућност се истражује: да ли више алата може заменити покварени или нека друга *CNC* машина у оквиру *FMC* може преузети обраду наведене *NC* секвенце. Ове анализе укључују упоредне карактеристике обрада и могућности манипулације система, тј. решавање транспортног проблема (стежање, постављање и манипулирање обрадком). Решења ове анализе су два могућа исхода: *FMC* систем може прихватити *NC* секвенцу, или *FMC* систем одбацује *NC* секвенцу као не обрадљиву унутар система. Први случај опоравка система у суштини је случај који је већ решен у систему (случај преузимања на другој *CNC* машини). Овај систем за опоравак *FMC*-а може резултирати смањеним перформансама.

Могућност квара периферне оси робота, претходно наведен у овом поглављу, је друга врста оштећења унутар *FMC* система и узрокује грешку у којој *FMC* робот не може приступити *CNC* машинама. Ако је тип квара, ове врсте оштећења, добијена из процеса (нпр. последњег положаја периферне осе) и детектован је положај робота, делимична санација *FMC* система била би могућа. У таквој ситуацији било би изводљива реконфигурација транспортног система, уже посматрано робота, за посебан или изузетан распон положаја дуж периферне осе. Робот, у овом делу разматрања, има реконфигурабилну структуру која уводи додатне пасивне и активне модуле као што је примењено у раду (*Tan Zhang et al., 2018*), а опоравак/поправка *FMC* система би била евидентна. Тада би *FMC* систем планирања процеса анализирао нову ситуацију и

доделио нова решења за сервис *CNC* машина (или само једну *CNC* машину). Време заказивања реконфигурабилности ће се одредити изгледом информација о грешци периферне осе. У овом случају, *FMC* систем имао би ограничену способност у складу са следећим критеријумима: способност преусмеравања обраде *NC* секвенци које припадају машини коју робот не може сервисирати, или одбацивање *NC* секвенци које не може обрадити оштећен *FMC* (немогућност процеса након реконфигурације; радни комад се ослобађа са *RFID* записом неиспуњених *NC* секвенци).

Посебне врсте оштећења су оне које се односе на додаваче, у посматраној анализи пнеуматски и гравитациони, и спадају у категорију оштећења периферне опреме. Ова врста проблема се лако решава са становишта управљања. Откривајући ову врсту оштећења систем управљања преусмерава припремке према резервном положају да би примио делове, тј. преусмеравања читача *RFID*.

Анализа реконфигурације робота мора обухватити време реконфигурације која се у овој фази не може спровести.

6 РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Један од циљева овог поглавља је да се представе резултати истраживања која се односе на унапређење одабира (избора) адекватних компонента у процесу развоја FMC, односно унапређење поступака доношења одлука при имплементацији исте, а све према захтевима производње.

У ситуацијама пуним неодређености (непознаница) неке реалне проблеме могуће је измоделирати као евиденционе мреже. Евиденционе мреже се састоје из варијабли, њихових вредности и међусобних релација и евиденција или информација које подржавају питања у вези са проблематиком.

Евиденционе мреже су предложене као могући начин процесирања неодређеног знања описаног функцијама уверења, а омогућавају доношење закључака на бази добијених резултата. Коришћење ових метода и алата у фази избора (пројектовања система) FMC веома је значајна, а њихова примена мора да буде у складу са претходним истраживањима (захтевима) у циљу унапређења способности пројектног тима у поступку доношења одлука.

Посебан део поглавља карактеришу спроведени експерименти, анализе резултата експеримента, као и ограничења у експериментима. Спроведено експериментално истраживање имало је за циљ парцијално тестирање модела управљања FMC коришћењем RFID технологије.

6.1 Евиденциони системи у анализи и верификацији предложеног модела управљања флексибилном ћелијом

Процес избора адекватне конфигурације FMC опреме је процес који пројектни тим обично селекује у сврху постизања претходно дефинисаног задатака, и то према тачно дефинисаним условима и ограничењима.

Процес пројектовања не може да се замисли без информационог менаџмента чији задатак је прикупљање информација, њихово процесуирање, сортирање, анализу и др. Евидентно, да је пројектовање, односно моделирање процеса мултидисциплинарна активност која пролази кроз низ активности међу којима је примена адекватних знања кроз која се стичу одређена искуства као плод креативног размишљања.

У основи све информације могу да буду савршене (перфектне) или несавршене информације (Хи, 1997). Информације су савршене када су прецизне и потпуно одређене. Несавршеност информација по свом карактеру подразумева непрецизност, неодређеност, нетачност, нејасност, некомплетност и незнање. Два најчешћа облика несавршених информација су непрецизност и неодређеност. Садржај података у информацији који је недоречена има карактер непрецизности. Неодређеност настаје

услед недостатка информација и података о стању које се анализира или недостатку поверења у то да ли су информације коректне или не (*Ђапић, 2005*). Неодређеност се јавља у случајевима у којима стање неког догађаја није још одређено, и у таквим ситуацијама мора се извршити избор између могућих опција које зависе од тренутног стања догађаја, наводи аутор.

Табела 6.1 Модели за представљање несавршених информација (адаптирано према *Хи, 1997*)

| Тип информације | Модел |
|------------------------|---|
| Непрецизне информације | Теорија фази скупова Теорија могућности |
| Неодређене информације | Теорија вероварноће Теорија функција уверења (математичка теорија евиденције) |

Један од опште прихваћених развијених начина представљана несавршених информација је теорија вероватноће, и то углавном за неке специфичне случајеве неодређености у којима се наводе њена ограничења. Из тих разлога развијене су и друге методе за представљање несавршених (непрецизних) информација (теорија фази-скупова и теорија могућности). За неодређене информације се уводи теорија функција уверења. Модели за представљање несавршених информација према (*Хи 1997*) приказани су у табели 6.1.

6.1.1 Теорија функција уверења

Dempster-Shafer теорија функција уверења омогућује снажне алате за математичко представљање субјективне (супротно од оног на чему базира теорија вероватноће) неодређености и при том се углавном ослања на могућност експлицитног дефинисања незнања. Теорија функција уверења у истраживањима која су дата (*Ђапић, 2000*) је првенствено намењена потребом настанка експерт система за апликације које обухватају:

- субјективна и/или некомплетна знања прибављена од групе домен експерата, и
- нетачне или некомплетне информације добијене интеграцијом неколико група података.

База знања је комбинација процедуралних знања базираних на искуству и декларативних знања изведених из разумевања фундаменталних феномена везаних за одређену апликацију.

Према наводима из предочене литературе, ова теорија је интуитивно прилагођени формализам за резонување испод границе неодређености. Такође она, представља генерализацију Бајсове (*Thomas Bayes*) теорије условне вероватноће. *Shafer*-ова теорија пружа формално конзистентан метод за интерпретацију и повезивање евиденције, која у себи носи неку неодређеност, а поред тога, омогућује добијање одговора у потпуном значењу на постављена питања употребом само парцијалне евиденције (*Ђапић, 2005*). Потпуна евиденција се може укључити само у неопходним случајевима.

Модел функције уверења (енг. *belief function*) се састоји из варијабли, могућих вредности ових варијабли и евиденције која подржава варијабле. Варијабле представљају појединачна питања о неком аспекту проблема који се разматра. Одговори на постављена питања могу да буду формиран на основу података који долазе из различитих извора, односно из контекста објављених радова, из података о измерним величинама, из мишљења експерата итд. Комплетно обједињена подршка могућем одговору се назива евиденција. Евиденцију је могуће представити функцијама уверења које су дефинисане на следећи начин.

Дефиниција 1 (Shafer G., 1976) Нека је дат коначан не празан скуп Θ који се назива оквир разматрања или једноставно само оквир. Пресликавање $Bel: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ се назива (нормализована) функција уверења ако и само ако постоји основна вредност уверења (basic belief assignment -bba) $m: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$, тако да је:

$$\sum_{A \subset \Theta} m(A) = 1 \quad (1)$$

$$Bel(A) = \sum_{B \in A, B \neq \emptyset} m(B) \quad (2)$$

$$Bel(\emptyset) = 0 \quad (3)$$

Вредност $m(A)$ може бити схваћена као мера нечијег веровања које је почињено тачно за подскуп A и слободно се креће унутар њега.

Услов (1) показује да нечије укупно веровање које је подржано од евиденције може максимално да има вредност један а услов (3) односи се на чињеницу да нечије веровање које је почињено за празан скуп мора да буде једнако нули.

Вредност $Bel(A)$ представља укупно веровање које је почињено за скуп A и све његове подскупове.

Сваки подскуп A чије је $m(A) > 0$ назива се жижни елемент. Празна функција уверења је функција код које $m(\emptyset) = 1$, а $m(A) = 0$ за све подскупове $A \neq \emptyset$. Ова функција представља потпуно незнање о проблему који се разматра.

6.1.2 0 евиденционим системима

Систем базиран на вредновању (*Valuation Based Systems - VBS*) је апстрактни оквир предложен од стране *Shenou* за представљање и резоновање на бази неодређености (*Shenou, 1992*). Омогућава представљање неодређеног знања у различитим доменима, укључујући Бајсову теорију вероватноће, *Dempster-Shafer* теорију евиденције која базира на функцијама уверења и *Zadeh-Dubais - Prodovu* теорију могућности (*Shafer G, 1976*). Графички представљен *VBS* назива се валуациона мрежа.

VBS се састоји од скупа варијабли и скупа валуација (вредновања) који су дефинисани на подскуповима тих варијабли. Скуп свих варијабли се означава са U и представља простор обухваћен проблемом који се разматра. Свака варијабла представља релевантни аспект неког проблема. За сваку варијаблу X_i користиће се Θ_{X_i} да се означи скуп могућих вредности варијабле који се назива оквир од X_i . За неки подскуп A ($|A| > 1$) од U , скуп валуација које су дефинисане на Θ_A представљају међусобни однос између варијабли у

А. Оквир Θ_A представља директан (Cortesian) производ свих ΘX_i за X_i у А. Елементе Θ_A називају се конфигурацијама од А.

Знање представљено овим типом валуација назива се генеричко или опште знање, које може да буде представљено као база знања у експерт системима.

У VBS се такође дефинишу валуације на појединачним варијаблама, што представља тзв. чињеничко знање (*factual knowledge*), што сачињава базу података у експерт системима.

За неки проблем опште генеричко знање дефинише експерт. То знање током процеса резонувања неће бити мењано. Чињенично знање ће се мењати сагласно са стањем проблема који се тренутно решава. У VBS ове две врсте знања се третирају на исти начин.

VBS систем прилагођен је за процесирање неодређеног знања које је описан функцијама уверења назива се систем за резонување на бази евиденције (енг. *An Evidential Reasoning System*) или евиденциони систем (енг. *Evidential System*), а валуационе мреже евиденционе мреже (EM).

Циљ резонувања на бази евиденције је оцена неке хипотезе, када је дат стварни део евиденције (чињенично стање). Ово се остварује евалуациом валуационих мрежа кроз два корака:

- комбиновањем свих функција уверења у евиденционој мрежи, чиме се добија тзв. глобална функција уверења;
- маргинализацијом глобалне функције уверења на оквире сваке појединачне варијабле или подскупова варијабли, чиме се добијају маргинали за сваку варијаблу или подскуп варијабли наводи у својој монографији (*Đapić, 2005*).

6.1.3 McEvidence програмски пакет

Софтверска подршка VBS системима је битан чинилац примене, ако не и условљавајући фактор у решавању и примени евиденционих система. Садржајно развој софтверских алата углавном се кретао паралелно у два правца; рачунарској и графичкој интерпретацији проблема. Најпознатији развијени евиденциони пакети су: *McEvidence* (*Hsio & Shenoy, 1989*), *Pulcinella* (*Saffotti Umkehrer, 1991*) *Delief* (*Zarly et al., 1988*).

McEvidence као софтверски пакет пројектован је за резонување у условима неодређености. Систем дозвољава кориснику да креира графичку мрежу варијабли (променљивих), њихов међусобну зависност и да унесе евиденцију која се односи на променљиве. Кад се унесе сва расположива улазна евиденција која одражава тренутно стање система или процеса који се анализира може се извршити евалуирање мреже. (*Đapić, 2005*). Процес евалуације, кроз операције комбиновања, генерише глобалну функцију уверења а потом се одређују маргинале свих варијабли.

6.1.4 Демпстерово правило

Демпстерово правило комбиновања производи нову функцију уверења која представља ефекат добијен повезивањем ова два тела евиденције.

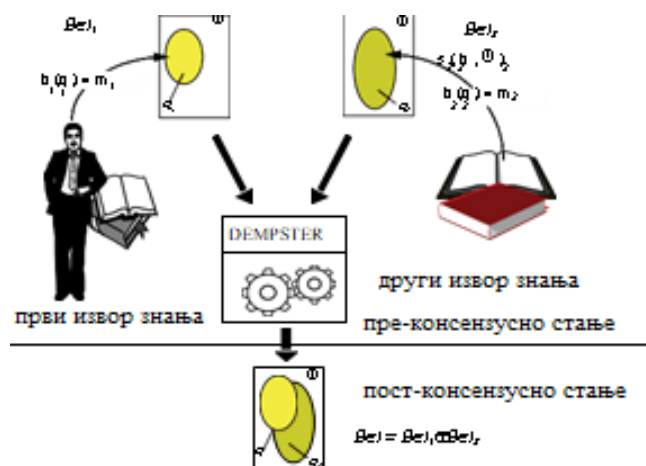
Нека се претпостави да су функције уверења Bel_1 и Bel_2 креиране на оквиру Θ . Нека су A_1, \dots, A_{1k} , $k < 2^{|\Theta|}$ су жижни елементи функције Bel_1 са одговарајућим m - вредностима $m_1(A_i)$ за $i = 1, \dots, k$ и нека су B_1, \dots, B_j , $j < 2^{|\Theta|}$ жижни елементи функције Bel_2 са одговарајућим елементима m - вредностима $m_2(B_i)$ за $i = 1, \dots, j$. Комбинација ове две функције се означава са $Bel_1 \oplus Bel_2$, а њени жижни елементи су C_1, \dots, C_m са одговарајућим m - вредностима $m_3(C_k)$ за $k = 1, \dots, m$, који су креирани на следећи начин:

$$m_3(C_k) = K \left[\sum_{A_i \cup B_j = C_k} m_1(A_i) m_2(B_j) \right] \quad (1)$$

где K представља нормализирајући фактор

$$K = \left[1 - \sum_{A_i \cup B_j = C_k} m_1(A_i) m_2(B_j) \right]^{-1} \quad (2)$$

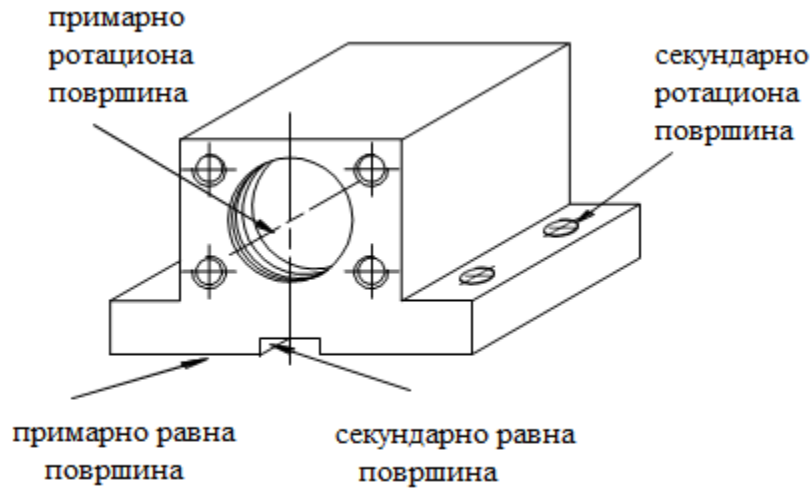
Нормализирајући фактор K је већи од 1 кад год Bel_1 и Bel_2 почине део масе неког веровања које одговара субјективној вероватноћи за растављене (или контрадикторне подскупове Θ). K представља меру конфликта две функције уверења. Кад год се две или више функција комбинују, правило комбиновања има особину асоцијативности и комутативности. Такође, генерално посматрано $Bel_1 \oplus Bel_2 = Bel$. Комбиновање одређеног броја функција уверења $Bel_1 \oplus \dots \oplus Bel_n$ се означава $\oplus \oplus \{Bel_1 \dots, Bel_n\}$.



Слика 6.1 Графичка илустрација Демпстеровог правила (Ђарић М. & Милачић В., 1995)

6.1.5 Евиденциони системи у избору концепције флексибилне ћелије са становишта флексибилности

Британско удружење производних инжењера *PERA* је урадило преглед захтева за машинском обрадом делова у индустрији (енг. *Production Engineering Research Association; PERA*, 1969). Категоризација је урађена на основу типа површина које се обрађују (слика 6.2.).



Слика 6.2 Различите класе површина (адапт. према PERA, 1969)

Примарне површине дефинишу главни облик дела. Секундарне површине, као што су упусти, навојне рупе, жлебови итд. обрађују се изван примарних површина. Подела површина на примарне и секундарне није извршена према функционалној важности, нити према сложености машинске обраде. Класификација свих делова у седам категорија је извршена према комбинацији ових површина, а приказана је на слици 6.3 (преузето и прилагођено из Đapić, 2005).


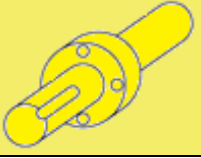
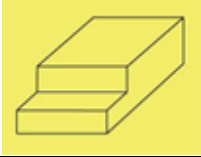



Овако дефинисана категоризација делова даје добру основу за анализу флексибилности модела *FMC*. Сходно томе у табели 6.2 дају се одговарајући статистички подаци дати у процентима односно броју коришћених карактера који се преносе путем тага за изабране групе делова.

Статистички подаци за групу делова од 1-4 изабрани су као репрезенти и дати у табели 6.2.

Предочени процентуални односи важећи су на укупном броју операција која се односи и на грубу и на фину обраду. Урезивање навоја није обухваћено анализом. Прва група делова за стругање користи до 240 карактера потребних за упис на *RFID* таг што одговара 95% операција стругања. Такође, претпоставља се да 95% обраде отпада на стругање и да 95% укупног броја операција су операције стругања. Неодређеност, непрецизност или непознавање на примеру прве групе делова одређена је са 5%.

На даље се излаже начин на који је могуће овако генерисано знање укључити у процес концепцијског пројектовања флексибилне ћелије превасходно са становишта обрадног система (*CNC* машина) и примењене *RFID* технологије. Теорије функција уверења и евиденциони системи, односно евиденционе мреже дају могућност да се предочено знање представи у одговарајућем облику, а касније искористи као помоћ у доношењу одлука. Основна идеја је да се направиле експертни ситем који ће у фази концептуалног пројектовања пружити помоћ стручним телима при избору концепције машине алатке тј. флексибилног обрадног система. За анализу која се презентира у раду претпоставка о броју и типу делова (усвојена према *PERA*) дата је у табели 6.3.

Табела 6.2 Категоризација делова (PERA, 1969)

| Ред.број | Назив | Изглед |
|----------|--|---|
| 1. | Примарно ротациони (pr) |  |
| 2. | Примарно ротациони са секундарима (pr+s) |  |
| 3. | Примарно равани (pr) |  |
| 4. | Примарно равни са секундарима (pp+s) |  |
| 5. | Примарно ротациони и примарно равни (pr+pp) |  |
| 6. | Примарно ротациони и примарно равни са секундарима [pr+(pp+s)] |  |
| 7. | Секундари (s) |  |

Табела 6.3 Процентуални удео од укупно претпостављеног броја карактера за сваку појединачну операцију машинске обраде према изабраним категоријама делова

| <i>FMC</i> технологија | 1 (pr) | | 2 (pr+s) | | 3 (pr) | | 4 (pr+pp) | |
|-----------------------------|--------|-----|----------|-----|--------|-----|-----------|-----|
| стругање | 240 | 95% | 240 | 39% | | | | |
| глодање | | | 160 | 26% | 320 | 95% | 320 | 57% |
| бушење | | | 130 | 21% | | | 170 | 30% |
| резање навоја ²² | | | 85 | | | | 68 | |
| Σ карактера | 240 | | 530 | | 320 | | 490 | |

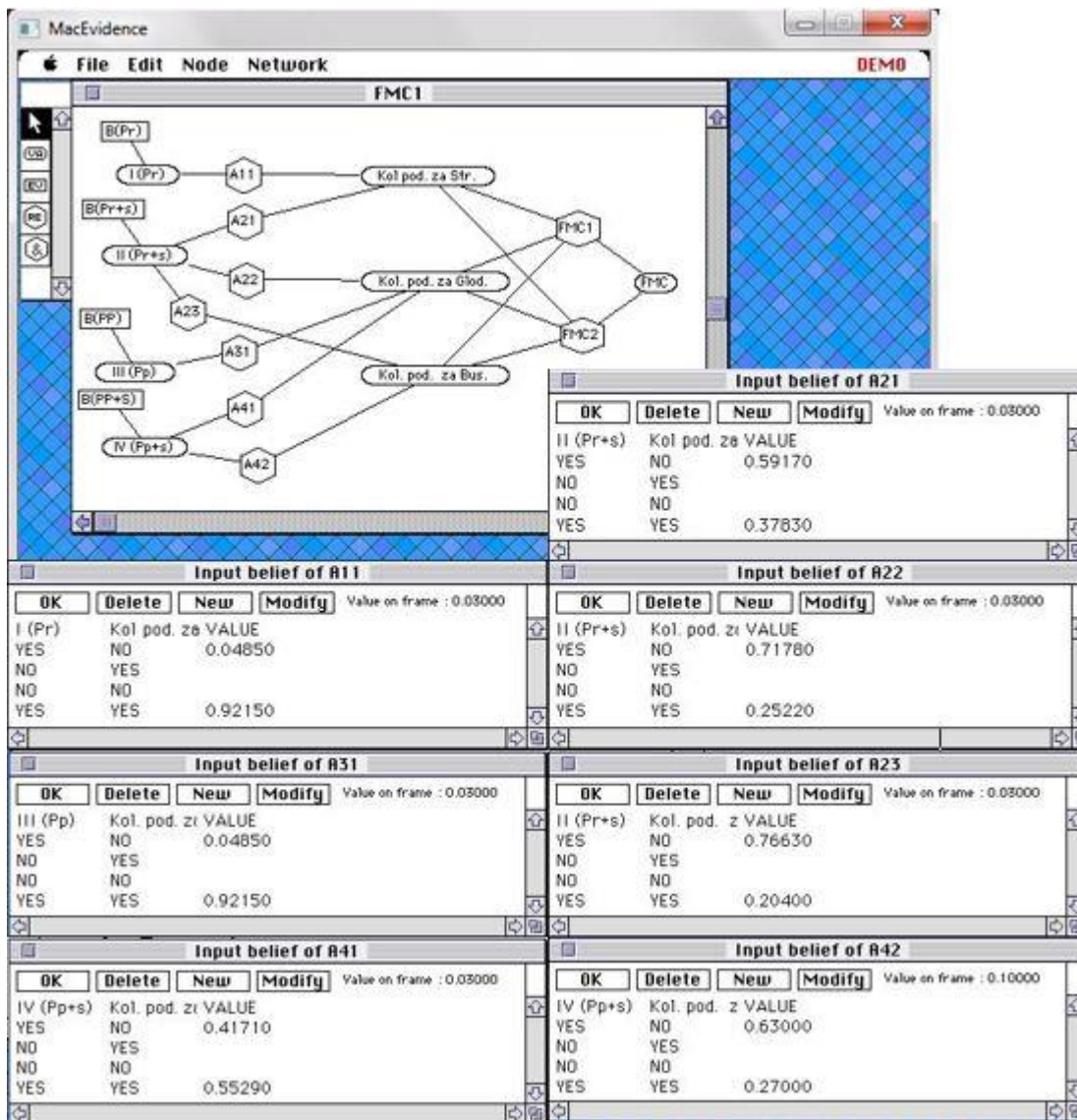
²² Није обухваћено анализом

Табела 6.4 Број и тип делова у анализи

| Број делова у серији | | | |
|----------------------|----------------------------------|----------------------|----|
| Ред.бр | Тип дела | Врој делова у серији | % |
| 1 | Потпуно ротациони | 2 | 20 |
| 2 | Потпуно ротациони са секундарима | 3 | 30 |
| 3 | Потпуно равни | 1 | 10 |
| 4 | Потпуно равни са секундарима | 4 | 40 |

Знање из табеле 6.2 за категоризовану групу делова од један до четири представљена је евиденционом мрежом (слика 6.3). Елементи евиденционе мреже A_{11} до A_{33} су представљени функцијама теорије уверења *Input belief of* A_{11} до *Input belief of* A_{33} .

У примеру за који се спроводи анализа на располагању су две концепције *FMC*. Заједничка карактеристика обе *FMC* су следеће исте компоненте: робот са периферном осом исте дужине, *CNC* глодалица, програмабилни и гравитациони додавачи, исти тип управљачког система (контролер робота и управљачке јединице машина). Различитост се односи на *CNC* струг. Прва *FMC* има стандардни (класични) тип револверске главе и на даље за ову флексибилну ћелију уводи се ознака *FMC1*. Друга флексибилна ћелија има револверску главу са погоњеним алатима који *CNC* стругу дају могућност обраде ситнијих глодачких захвата, што деловима из групе два према категоризацији *PERA*, даје могућност обраде на једном типу машине; тј. *CNC* стругу. За овај тип флексибилне ћелије у даљој анализи уводи се ознака *FMC2*.



Слика 6.3 Знање из табеле 6.2 представљено као евиденциона мрежа (категоризовано за делове из групе 1, 2, 3 и 4)

Ако се у наведеној концепцији флексибилних ћелија посматра утицај појединих *RFID* карактеристика на процес може се истаћи следеће:

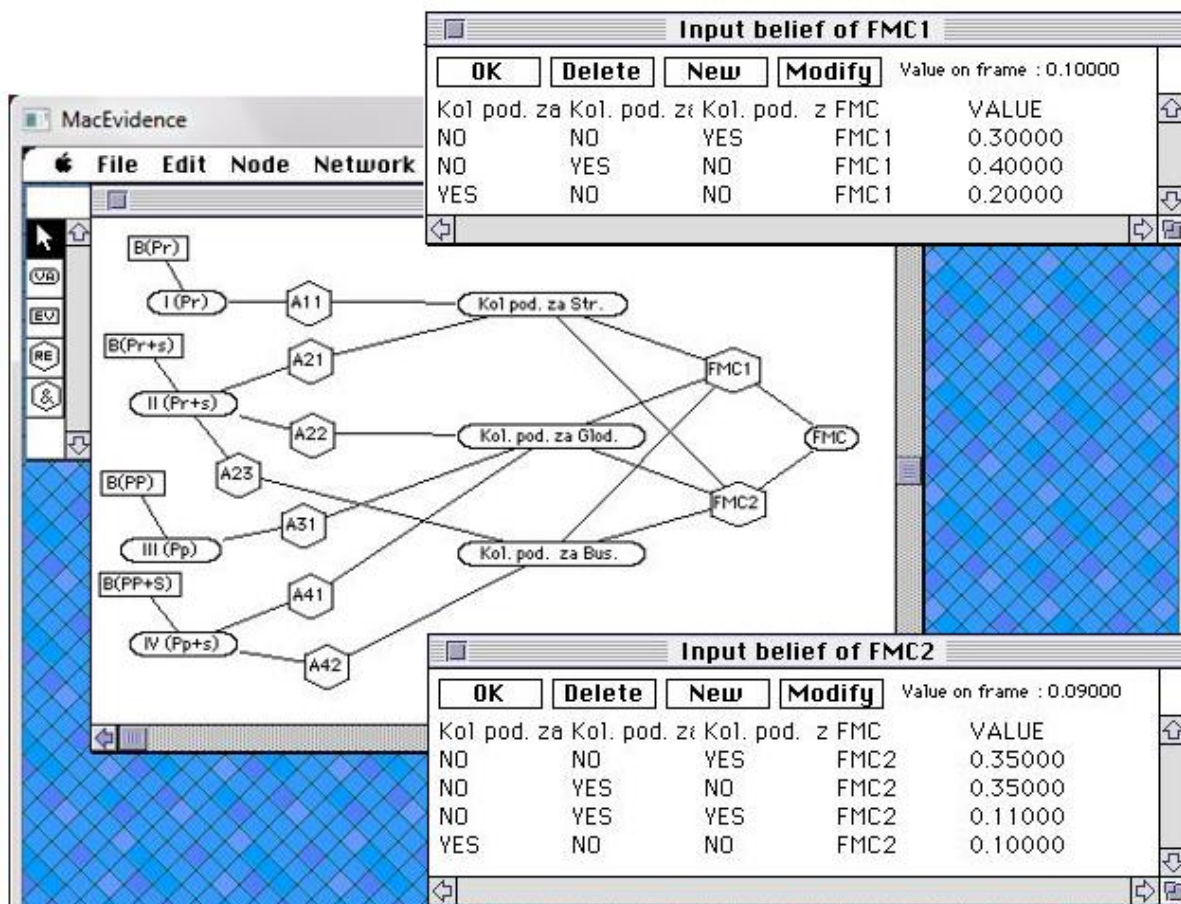
- могућност паралелне обраде делова друге групе за операције глодања и бушења за концепцију *FMC2*, и
- увећање података намењених роботу за манипулацију обрадцима у операцијама глодања и бушења код концепције *FMC1* (посматрано сепаратно).

Знање о различитим типовима *FMC* везано за карактеристику процеса представљено је функцијама уверења у табели 6.5.

Ако се ово експлицитно знање опише функцијама теорије уверења и укључи у евиденциону мрежу, добиће се база знања за наведени пример (слика 6.4).

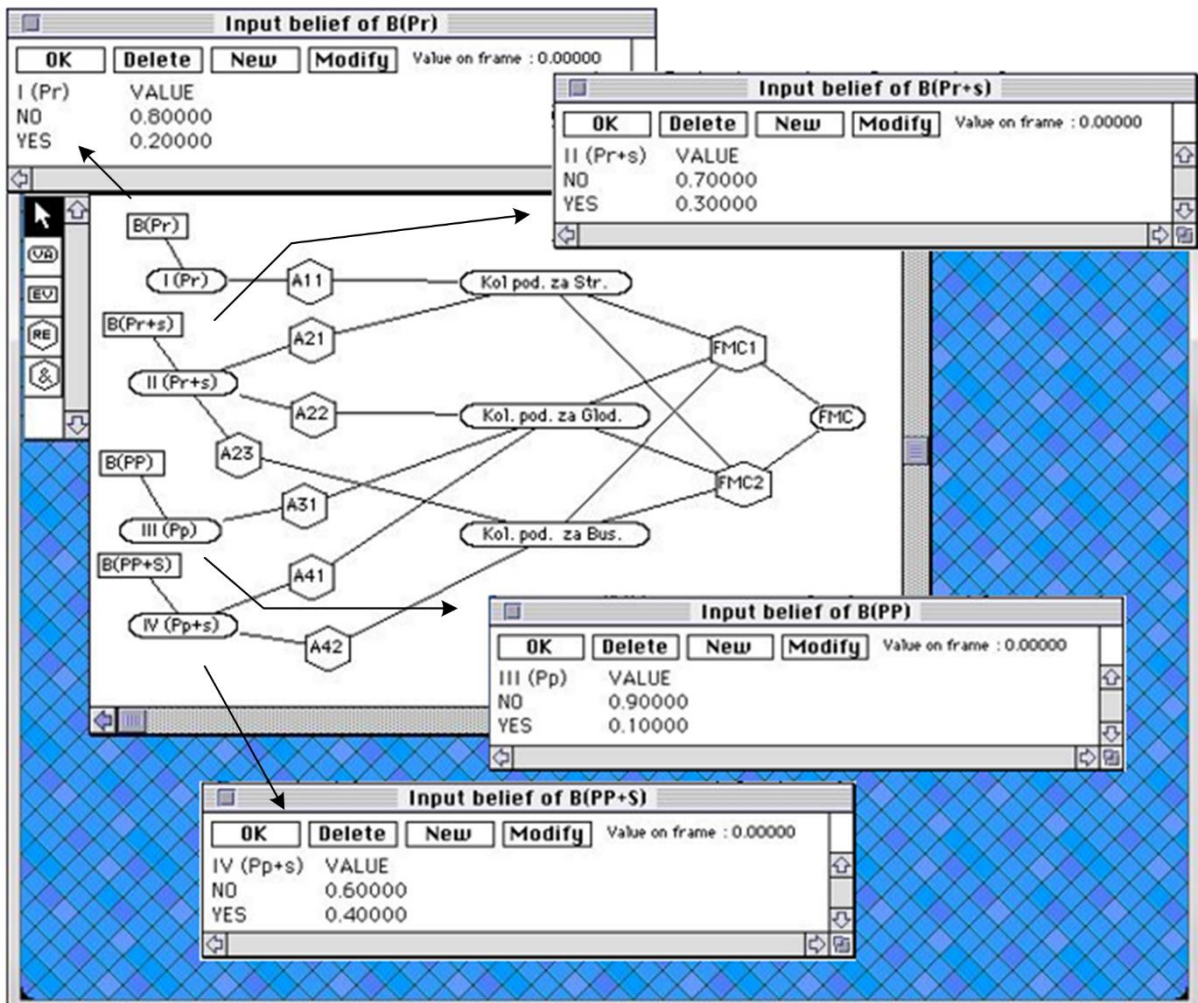
Табела 6.5 Знање о различитим типовима *FMC* везано за карактеристику процеса представљених функцијама уверења

| Карактеристика процеса | Тип <i>FMC</i> ²³ | |
|---|------------------------------|-----------------|
| | <i>FMC1</i> [%] | <i>FMC2</i> [%] |
| Могућност паралелне обраде стругарских операција/захвата на више различитих машина. | 20 (15-25) | 10 (5-15) |
| Манипулација обратком за операције глодања | 40 (35-45) | 35 (30-40) |
| Манипулација обратком за операције бушења | 30 (25-35) | 35 (30-40) |

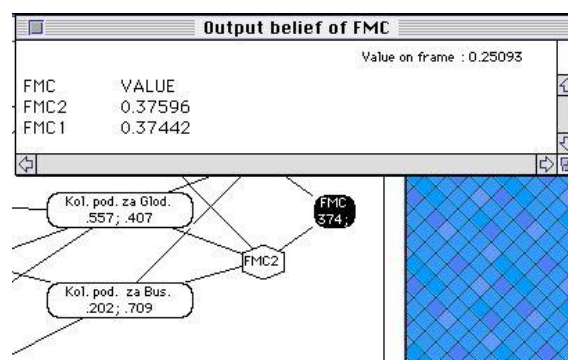


Слика 6.4 База знања у избору концепције *FMC*

²³ Због једноставности избегава се дефинисање функције уверења на интервалу. Dempster-Shafer теорија то омогућава. Уместо интервала користе се средње вредности интервала. На пример, у случају манипулације обратком *FMC2* је 25%.



Слика 6.5 Евиденциона мрежа са улазним уверењима



Слика 6.6 Евиденциона мрежа са излазним уверењем

Следи унос чињеничног знања за стварну групу делова из класе 1, 2, 3 и 4 са слике 6.4 и табеле 6.5. Претпоставка је да групу чини: 20% делова прве групе, 30% делова друге групе, 10% делова треће групе и 40% делова четврте групе. Ове информације су представљене помоћу функција уверења *Bl I (Input belief of B-Pr-)*, *Bl II (Input belief of B-Pr+s-)*, *Bl III (Input belief of B-Pp-)*, и *Bl IV (Input belief of B-Pp+s-)* што је графички представљено сликом 6.6. Евалуацијом евиденционе мреже ове информације мењају стања у свим чворовима па тако и у излазном чвору *FMC* који се односи на количину *RFID* података. Ово стање (слика 6.6) је изражено излазним функцијама уверења *FMC (Output belief of FMC)*. У овом случају за изабрану структуру групе делова има уверења $FMC1 = 0.374$ и $FMC2 = 0.376$.

6.1.6 Дискусија резултата избора концепције флексибилне ћелије са становишта флексибилности

Улога евиденционих мрежа у пројектовању концептуалних решења може се посматрати:

- као способност евиденционих мрежа да апсорбују знање које је годинама генерисано у области производног инжињерства, и
- као доградња предходно генерисаних евиденционих мрежа и њихово коришћење као помоћног алата у доношењу одлука.

Ако се анализира колико су понуђена концептуална решења *FMC* погодна за поједине врсте обраде са становишта количине *RFID* података може се закључити да је *FMC2* погоднија, док је мање погодна је концепција *FMC1*. Оцена погодности произилази из потребне количине манипулационих података спроведених за сваку категорију делова. Ово знање се током анализе не мења. Евалуацијом евиденционе мреже информације конкретног примера мењају стања у свим чворовима па тако и у излазном чвору *FMC*. Ова стања директно се односе опредељење и избор концепције *FMC*.

Табела 6.6 Расподела уверења за различите концепције *FMC* зависно од процентуалног удела класа делова

| Број групе дел. | Парцијално учешће прве, друге, треће и четврте категорије у групи | | | | | | | | | | | | Расподела уверења | | |
|-----------------|---|-----|-------|-----------|-----|-------|----------|-----|-------|-----------|-----|-------|-------------------|-------------|-----------------------|
| | I.(Pr) | | | II.(Pr+s) | | | III.(Pp) | | | IV.(Pp+s) | | | Bel (FMC) | | |
| | да | не | да/не | да | не | да/не | да | не | да/не | да | не | да/не | <i>FMC1</i> | <i>FMC2</i> | (<i>FMC1, FMC2</i>) |
| 1. | 0.2 | 0.8 | - | 0.3 | 0.7 | - | 0.1 | 0.9 | - | 0.4 | 0.6 | - | 0.374 | 0.376 | 0.250 |
| 2. | 0.4 | 0.6 | - | 0.2 | 0.8 | - | 0.3 | 0.7 | - | 0.1 | 0.9 | - | 0.314 | 0.313 | 0.373 |
| 3. | 0.1 | 0.9 | - | 0.4 | 0.6 | - | 0.2 | 0.8 | - | 0.3 | 0.7 | - | 0.369 | 0.416 | 0.215 |
| 4. | 0.3 | 0.7 | - | 0.1 | 0.9 | - | 0.4 | 0.6 | - | 0.2 | 0.8 | - | 0.320 | 0.366 | 0.314 |
| 5. | 1 | - | - | - | 1 | - | - | 1 | - | - | 1 | - | 0.471 | 0.339 | 0.192 |
| 6. | - | 1 | - | 1 | - | - | - | 1 | - | - | 1 | - | 0.373 | 0.354 | 0.275 |
| 7. | - | 1 | - | - | 1 | - | 1 | - | - | - | 1 | - | 0.206 | 0.668 | 0.127 |
| 8. | - | 1 | - | - | 1 | - | - | 1 | - | 1 | - | - | 0.236 | 0.569 | 0.195 |

У табели 6.6 наведени су подаци који показују промену уверења у вези са концептуалним решењима флексибилне ћелије зависно од процентуалног садржаја појединих група делова. Тако за групу делова коју чини 20% делова прве групе, 30% делова друге групе, 10% делова треће групе и 40% делова четврте групе приближно су оба концепта флексибилне ћелије погодна, што је и одређено уверењима $FMC1 = 0.374$ и $FMC2 = 0.376$.

За групу делова који се састоје само из делова прве класе ($FMC1 = 0.471$ и $FMC2 = 0.339$) евидентно је смањење количине потребних *RFID* података за концепцију флексибилне ћелије $FMC2$ уз неодређеност $(FMC1, FMC2) = 0.192$. За изабрану структурну групу делова прве класе концепт флексибилне ћелије $FMC2$ је погоднији.

Сасвим супротно за групу делова код којих је уверење $FMC1 < FMC2$ погоднија је концепција флексибилне ћелије $FMC1$.

Утицај количине *RFID* података може потенцијално да утиче на процес, јер се могу срести две ситуације:

- да количина података записана тагу није потпуна (довољна), тада се мора прибећи вишеструком запису (робот у више наврата користи *RFID* читач/писач) или увођење додатног тага (нпр. део носи два тага), и
- да количина података записана тагу је потпуна (довољна) тј. таг је капацитета да прими комплетан садржај и тиме се процес несметано може спровести.

Спроведена анализа не укључује вишеструка читања и писања тага, као последицу комплексних и дугачких информацијских технолошких и манипулативних података.

6.2 Експерименти и резултати експеримената

Предмети обраде, над којима се спроводе експерименти израђују су на *CNC* стругу и *CNC* глодалици које су обрадне компоненте *DFMC* (слика 6.7). Робот, који опслужује машине, је вертикални антропоморфни са пет зглобова постављен на *slider*. Хватаљка робота је прилагођена за прихват цилиндричних и призматичних припремака мањих габаритних димензија (отвор хватаљке до 60 mm). *RFID* читачи/писачи су постављени на гравитационом додавачу, пнеуматском додавачу, сталку прилагођеним за манипулацију деловима (која служи за привремено одлагање и промену положаја хватаљке на делу) и један на привременом положају за одлагање у зони предвиђеној за станични улазак палете. Тагови су залепљени на ободним површинама обрадака. У експериментима учествују делови различитих конфигурација.



Слика 6.7 Дидактичка флексибилна ћелија

6.2.1 Истраживања параметарског програмирања применом *RFID* технологије

Параметаско програмирање тестирано је за две карактеристичне групације делова применом *RFID* технологије. Циљ експеримента је верификација теориских поставки са практичним за конкретну управљачку јединицу.

У првом експерименталном делу разматране су три групације делова са пет различитих врста обраде на стругу, без коришћења повратних спрега у програму, а поређење је анализирано за два начина програмирања; G-код и параметарско програмирање.

У другом експерименту анализирани су параметарски интероперабилни програми применом *RFID* технологије на глодалици, чије алгоритамске структуре садрже коришћење повратних спрега. Тестирани су програми $2\frac{1}{2}D$ геометрије чије типске форме су подржане од већине управљачких јединица.

Тестирани програми за спроведене експерименте (за обе врсте обраде) резултирају побољшању ефикасности *NC* операција са аспекта: брзине измене програма, реализације већег броја програма у истом временском интервалу, краћа дужина програма, повећана флексибилност за групу сличних делова и растеређење рачунарских ресурса. Резултати истраживања параметарског програмирања коришћени су у избору концепције *DFMC*.

6.2.2 Анализа резултата истраживања параметарског програмирања

Примена флексибилног *CNC* програмирања свој пуни ефекат даје у случајевима када је *CNC* машина саставни део *FMC/FMS*, а делови су мањег габарита са брзом и учесталом

променом производног програма. У тим случајевима може се говорити и о карактеру адаптивног управљања процесом, јер је садржај програма општи, а варијабле су те које одређују извођење појединих стратегија обраде тј. захвата. Вредности параметара дају посебан тон технолошкости процеса обраде и њихова вредност има веома важну улогу у самом процесу. Као што је претходно изнето рачунари унутар мрежног окружења сада имају потпуно нову улогу; имају одређени степен аутономности и нису у тој мери подређени серверу.

На основу изложеног проистиче могућност пројектовања нових софтверских пакета, који ће омогућити подршку флексибилнијој и ефективнијем процесу у области флексибилне производње.

Научни циљ овог дела рада је истраживање, развој и имплементација *RFID* технологије у управљачке системе флексибилних обрадних система. Остваривање основног циља, унапређење процеса, реализује се кроз следеће парцијалне циљеве који ће послужити као основа за: аутоматску идентификацију производа на бази *RFID* технологије, планирање технолошког поступка на основу записа тагова, и растерећење управљачког система тј. локализација управљања.

Резултати су теоријски и практични и имају апликативну примену у флексибилним производним системима. Са повећањем капацитета меморије на транспордерима омогућиће се да комплетни параметри за све, па и оне дуже програмске садржаје, запишу и користе у технолошком процесу. До остварења таквих могућности може нас водити пут ка вишеструком читању меморијског записа и промени његовог садржаја на транспондеру у зависности од могућности која од машина је слободна и спремна да прими у процес обраде конкретан радни предмет. Један од праваца води и ка развоју новијих управљачких јединица која поред *G* кода су у могућности да прочитају *STEP-NC* програм који се може такође наћи.

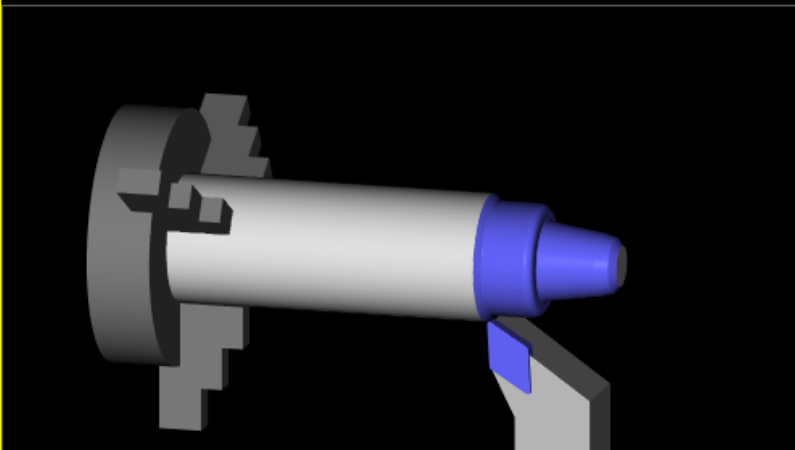
6.2.3 Експеримент 1 : Верификација расподеле технолошких и роботских секвенци

У овом експерименту учествовала су два различита производа: цилиндрични са пет *NC* секвенци који се обрађивао на *CNC* стругу и призматични са три *NC* секвенце који се обрађивао на *CNC* глодалици. Припремци су у систем постављени преко адекватних додача који су имплементирани у *FMC*. Претходно, су тестиране процесне *NC* секвенце обраде засноване на макро програмима (слика 6.8), те је акценат био на добијању информација о исправности и верификацији роботских секвенци које генеришу агенти уз помоћ *RFID* записа. Из поставке експеримента може се закључити да делови намењени стругању и глодању треба проследити оној *CNC* машини за коју је и предвиђен тип *NC* секвенце.

Изведена реализација и верификација експеримента је поређена/анализирана са класичним системом управљања флексибилне ћелије. Генерисане роботске секвенце у овом експерименту дале су оптималне роботске путање.

N5 R2=1 R3=0 R4=0 R5=0.2 R6=0.06 R7=0.06
 R8=0.04 R9=9 R10=0 R11=0 R12=1
 N10 R13=21 R14=-39 R15=3 R16=2.5 R17=0 R18=5
 R19=6 R20=1 R21=1 R22=1 R23=1 R24=0 R25=0
 R26=0.5 R27=0 R28=5 R29=0

Параметри грубе обраде записани на RFID тагу

| | | |
|--|---------------|--|
| Program | Channel 1 | JOG |
| Channel reset | | |
| Program aborted | | ROV |
| 3D-simulation | | DIS_EKSPERIMENT.MPF |
|  | | Single F 0.040 S 80.000 T 2 00:02:56.80 X 20.666 Z -21.383 |
| Program editor: | | DIS_EKSPERIMENT.MPF |
| <pre> N60 G0 X30 Z10 N65 IF _POP==1 GOTOF POP N70 START1: N75 IF _GUSP==1 GOTOF GUSP N80 START2: N85 IF _ZSP==1 GOTOF ZSP N87 GOTOF END N90 POP: N95 ;PROGRAM ZA POPRECNU OBRADU... N100 G0 X22 Z0 N105 G1 X-1 N110 G0 Z1 N115 G0 X22 Z2 N120 GOTOB START1 N125 GUSP: N130 ;PROCEDURA ZA SPOLJASNJU GRUBU OBRADU N135 CYCLE95("V9",R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8,R9,R10,R11,R12) N140 G00 X30 Z5 N145 GOTOB START2 N150 ZSP: </pre> | | |
| Edit | F1 Wire frame | F2 Solid view |

Слика 6.8 Симулација грубе обраде са параметрима и делом програма

Роботске секвенце користе адекватне потпрограме. Потпрограми који се реализују преко контролера робота су заступљени и у основном (стандардном) управљању. Пример потпрограма за стартовање програма струга дат је на слици 6.9.

```

*****
Set Subroutine START CYCLE PCTURN55
Print to Screen: START CYCLE PCTURN55
Turn On Output 2
Set Variable START_MILL_PROCESS = 1
Wait 20 (10ths of seconds)
Turn Off Output 2
Enable Input Interrupt 2
Send Message SET ROBOT_STATUS = 1 to Robot Device Driver ID=41
Return from Subroutine
Remark:
*****

```

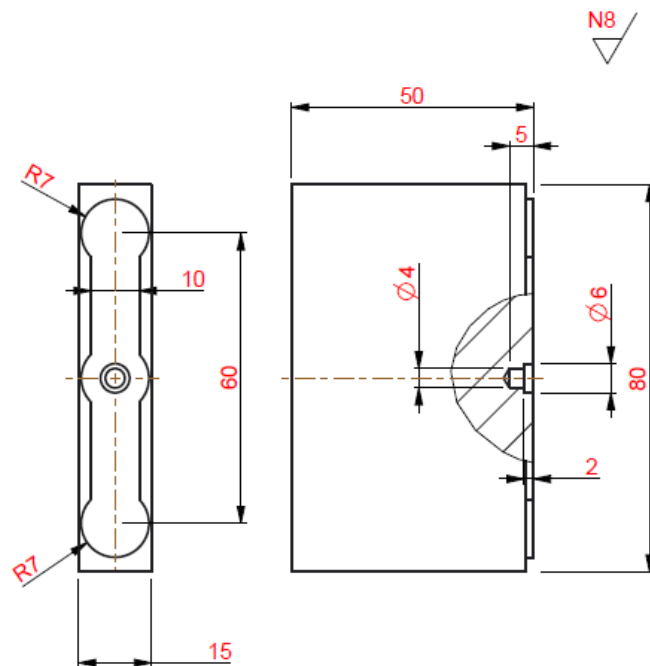
Слика 6.9 Потпрограм за стартовање програма струга

У овом експерименту роботске позиције и технолошки параметри добијени са тага везаног за призматични део остају непромењени током експеримента. Супротно, за цилиндричне делове наизменична промена садржаја позиција робота и R параметара CNC програма струга прати измену делова.

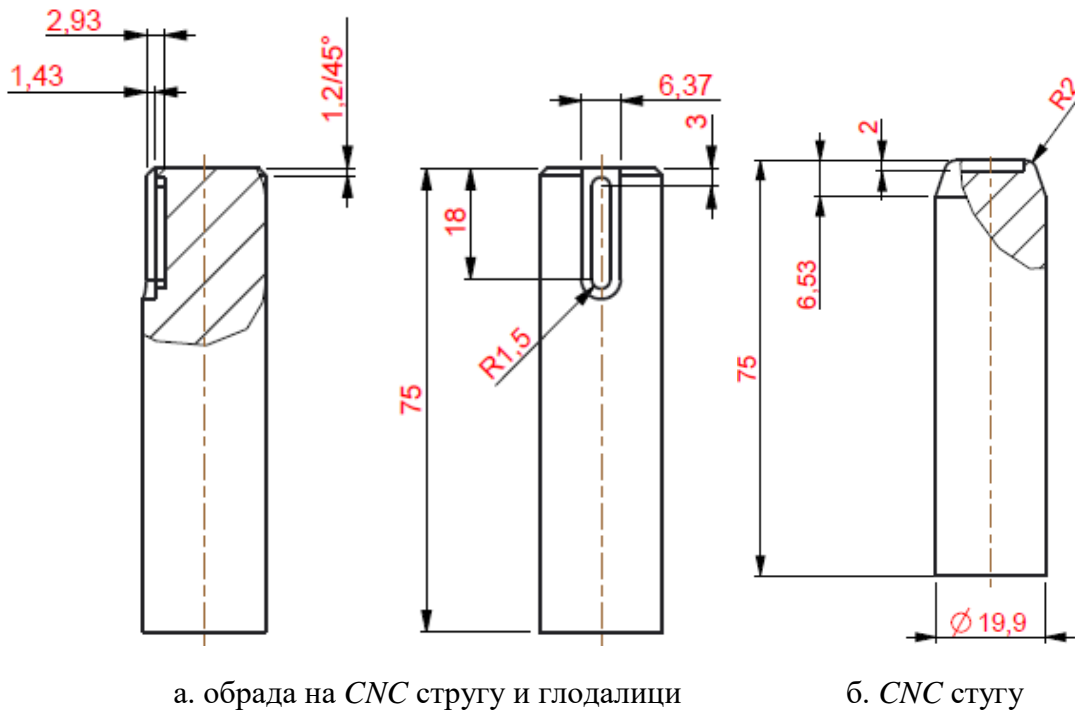
Овај тип експеримента је значајан са становишта читања садржаја тага као и правилна дистрибуција података намењеним адекватним ресурсима. Такође је значајна и благовремена замена садржаја у меморијским локацијама рачунара компонената $DFMC$.

6.2.4 Експеримент 2 : Промена редоследа процеса $DFMC$

Други експеримент карактеришу три различита дела: два различита цилиндрична обрадка (слика 6.11) са три NC секвенце од којих се једна обрађују на CNC стругу, а две секвенце на глодалици и један призматични део (слика 6.10) са две NC секвенце на CNC глодалици.



Слика 6.10 Призматични део експеримента 2



а. обрада на CNC стругу и глодалици б. CNC стругу

Слика 6.11 Два цилиндрична обратка експеримента 2

Приоритети у овом експерименту нису дати, тј. мулти-агент *Advanced Manufacturing Planning* решава задатак према пројектованом распореду. Бар једна слободна машина је критеријум за улазак трећег дела у систем. Листа обрадних процеса је дефинисана према најкраћој обради на стругу. У процес се уводи прво призматични део са својом првом операцијом. Како је CNC глодалица заузета то агент формира листу секвенци за обраду цилиндричних делова (спроводећи манипулацију увођење дела у обрадни систем, обраду и манипулацију одлагања). Управачки систем одабира са листе секвенци други цилиндрични део према критеријуму броја секвенци. На даље, систем ослушкује која машина пре завршава обраду и евентуално ће кориговати распоред предвиђених роботских секвенци.

Први сценарио: Ако CNC глодалица заврши обраду пре CNC струга робот ће ослободити прво радни простор глодалице за прихват првог цилиндричног дела (а.). Тада следе две NC секвенце глодања тог дела. Из списка могућих обрада издвају се две секвенце глодања које захтевају идентичан положај стезања (између призматичних делова чељусту помоћног прибора за стезање). Ове технолошке секвенце прати манипулациона роботска секвенца (са/без употребе „сталка”²⁴) прихвата у хваталке робота у циљу лакшег постављања односно центрирања дела. По завршетку обраде на стругу дела (б.) следи његово одлагање. Потом следи манипулација првим делом (а.) и његово постављање у стезну главу, стезање, и преостала технолошка секвенца обарања ивица.

Други сценарио: Ако је CNC струг завршио обраду пре CNC глодалице систем уводи у процес обраде први стругарски део (а.) и обрађује технолошку секвенцу намењену обради на стругу. На даље следи одлагање призматичног дела и коначно по завршетку обраде на стругу и коначне две технолошке секвенце дела (а.) на глодалици.

²⁴ Сталак – уздигнуто постоље за привремено одлагање и манипулацију деловима

Из спроведеног експеримента може се уочити и да поред технолошких секвенци присутне су и роботске секвенце, које су узрочно-последичне у односу технолошке секвенце. Пре постављања призматичног дела у помоћни прибор за стезање део мора бити правилно стегнут хваталкама робота у циљу несметаног улагања. Ова карактеристика (боље рећи податак) је једна од низа записа на тагу која се трансформише и преноси у део програмабилне корисничке меморије робота.

6.3 Анализа резултата експеримената 1 и 2

Показатељи експерименталних истраживања у оквиру дисертације дали су добре резултате за:

- правилну дистрибуцију информација коришћењем *RFID* технологије и то:
 - пренос и меморисање информација на залепљени таг дела, и
 - дистрибуција садржаја тага/ова према адекватним управљачким компонентама система, и
- испитивање функционалности система са адекватним садржајем за сваки део.

Први експеримент је постављен тако да се превасходно може оценити дистрибуција и пренос информација на релацији таг управљачка јединицама као и сама реализација постављеног задатка. Реализација експеримента је упоређивана са класичним (изворном) управљањем без коришћења *RFID* технологије. Како су секвенце првог експеримента непроменљиве, и у технолошком и у манипулационом (транспортном) захтеву, то се карактеристика динамичности овог процеса није могла испитати.

Један од циљева другог експеримента је испитивање софтверског дела која се односи на промену редоследа свих секвенци на тагу. Такође се испитивала тачност пренетог садржаја и динамичност процеса. Резултат успешности модела управљања у другом експерименту је и варијабилност процеса, која је и реализована.

Резултати истраживања динамичности модела управљања су оправдали теоријске поставке. Манипулацијом обрадних параметара утицало се на редослед извршавања *NC* секвенци, чиме се могло пратити и оценити динамичност процеса.

Није испитиван утицај цикличности за ова три дела на сам процес. Појава ручног интервенисања на појаву грешака је минимална. Експеримент је спроведен уз незнатну интервенцију и контролу процеса насталу као последицу имплементације нове опреме у постојећу.

Спроведени експерименти дају резултате који показују оправданост пројектованог модела. Предочене теоријске могућности, које нису још имплементиране, односе се на дуалност *NC* секвенци. На пример централно осно бушење може бити изведено на *CNC* стругу или на *CNC* глодалици. Тренутно агент који генерише листу ових *NC* секвенци није способан за ову врсту одлучивања (није имплементиран). Услов за реализацију истог било би заузеће машине и расположиви алат у магацину/револверу.

Добијени резултати на пољу имплементације *MACRO* програмирања, генерисања роботских секвенци применом *RFID* технологије могу дати бенефите:

- унапређење флексибилности технолошког поступка,
- оптимизацију и унапређење процеса (технику и технологију поступка), и

- подизање нивоа изучавања.

Истраживања су показала оправданост пројектованог модела управљања са становишта „ад-хок” производње, растерећења имплементираних рачунарских ресурса флексибилне ћелије, брзине и динамичности процеса. Исто тако остварена је децентрализација управљања што је омогућило убрзавање протока информација унутар *DFMC*.

У експерименталном делу дисертације, као потенцијално ограничење, може се сматрати чињеница да је управљање пројектовано за делове мањег габарита, који имају мање захтеве у решавању транспортног проблема. Из тих разлога неопходно је спровести анализе за делове који су комплекснији по облику и димензијама. Такође анализе би морале укључити капацитет меморије транспордера и вишеструка читања.

6.4 Правци развоја

Предочени модел управљања је динамичан и адаптибилан, тако да су све промене у виду разноликости компонената *DFMC* и потпроцеса изводљива кроз прилагодљивост софтверског решења.

Ограничавајући фактор је количина података која се може записати на носачима информација тј. транспордерима. Са повећањем капацитета меморије на транспондерима створиће се другачији услови који ће омогућити да се комплетни параметри, па и они дужи програмски садржаји, запишу и користе у технолошком процесу. До остварења таквих могућности може нас водити пут ка вишеструком читању меморијског записа и замени његовог садржаја на транспондеру.

Управљање и замена резног алата у основном моделу управљања није имплементирана, али је могућа и остварива путем планске реконфигурабилности транспортног система у моделу управљања изложеног у поглављу 5.4.3. Такође флексибилност *DFMC* се може унапредити увођењем колаборативног робота чији би превасходни задатак био помоћ основном роботу у циљу извршавања постојећих задатака. У решавању овог типа манипулационог/их задатка требало би водити рачуна о зонама и подручјима рада истог у циљу спречавања колизија. Овај робот би могао послужити и за опслуживање приручног међуоперацијског складишта.

Развијени модел управљања у докторској дисертацији даје нова теориска знања која се практично могу проширити и на модел управљања који садржи другачији транспортни систем нпр. палетни транспорт. Шире посматрано модел управљања *DFMC* је могуће прилагодити и имплементирати у *DFMS* у циљу свеобухватнијег изучавања управљања у школским системима Р. Србије.

7 ЗАКЉУЧАК

Научни циљ ове докторске дисертације је презентација развијеног модела управљања флексибилне ћелије заснованог на бази *RFID* технологије, који је независан модел управљања, али и компатибилан основном моделу управљања *FMC*. Овај рад је резултат истраживања и сагледавања развоја и имплементације *RFID* технологије у управљачке системе флексибилних обрадних система. Реализација основног циља, реализује се кроз постављање парцијалних циљева: аутоматска идентификација производа на бази *RFID* технологије, планирање технолошког поступка на основу записа тагова, и растерећење управљачког система тј. локализација управљања.

Мулти-агенска архитектура модела управљања дидактичке флексибилне ћелије, предложена у докторској дисертацији, способна је да за дато конструктивно решење обезбеди интероперабилност *RFID* технологије јер омогућава дистрибутиван систем управљања и надзора за *FMC*. Презентирани модел управљања има предност у односу на делове мањег габарита, који захтевају брзе измене програма у обрадним (*CNC* машинама) и манипулативним системима (робот са екстерном периферном осом) јер тежи ка адаптивном, „ад-хок” управљању решавајући непознате и непредвидиве ситуације. Овако конципиран модел уводи флексибилну ћелију на виши ниво управљања.

Модел управљања обједињује:

- технологију засновану на агентима,
- параметарско програмирање *CNC* машина, и
- флексибилне алате и методе у процесима генерисања технолошког поступка и транспорта унутар *FMC*.

Модел је тестиран парцијално помоћу реалних података добијених на основу истраживања. Истраживање је обухватило дидактичке флексибилне ћелије, чије компоненте су имплементирани у већини школа Републике Србије. Резултати истраживања могу се искористити као основа за успостављање сложенијих, напреднијих метода и начина управљања *FMC*, шире *FMS*, које у својој структури могу имати и разноврсније, другачије компоненте. Сам модел управљања уводи оптимална побољшања технолошког процеса подижући ниво комуникативности, динамичности и агилности чиме флексибилној ћелији даје карактер савремених управљачких система.

Сprovedена истраживања обухватила су компоненте *FMC* које чине минималну и основну конфигурацију исте и при том су репрезент за обучавање/изучавање у образовним установама. Изложени модел управљања може се проширити увођењем компонента које су по својој структури идентичне или сличне анализираним (нпр. *CNC* машине) као и оних које су по својој структури и карактеру другачији од анализираних (нпр. регално складиште).

Модел управљања *FMC* је подобан за извесне модификације, тј. проширења чиме посматрани модел управљања прераста у модел управљања *FMS*. Тако, ако се у систем уведе компонента која по свом карактеру није обрадна, нпр. *3D* штампач (за металне делове којима треба додати пластични уметак), или робот са задатком да лепи тагове и

колаборира основном роботу, изложеном моделу управљања даје карактер унапређеног модел управљања.

Пре отпочињања истраживања дефинисане су полазне методе које су истраживањем и потврђене. У наставку текста даје се анализа сваке хипотеза појединачно:

Могуће је развити модел који би могао функционално да апроксимира динамички променљиве утицаја различитих радних стања флексибилног система.

Током анализе флексибилних система запажено је а што потврђују и подаци из литературе да се проблематика, првенствено, испољава као недиманичност система који је првенствено последица централизованог система управљања.

Главни недостаци такве архитектуре су: висока сложеност централизованог управљачког система, неадекватно време одзива имплементираних машина и уређаја и, генерално, врло велика толеранција на грешке целог система. Тако, контролери за сваки подсистем *FMC*, (*FMS*) су хијерархијски повезани за главни (централизовани) рачунарски систем управљања који доноси све одлуке везане за процес управљања. У таквом систему проток информација се врши слањем команди одозго на доле и кроз пружање информација одоздо на горе. Ако је ентитет већи он има разгранатију (већу) хијерархију и увећање издатих и примљених команди што усправа комуникацију. Такође је утврђено да одређене помоћне, припремне операције трају предуго, често, дуже и од самог обрадног процеса. Сходно изнетом произлази да је проблем у динамичности и агилности процеса а исти се превазилази побољшањем, децентрализацијом система и растерећењем рачунарских ресурса.

У вези изнетог, а ради прикупљања, оцењивања, дефинисања и извештавања података и запажања извршене су адекватне анализе, не само дидактичких већ и индустријских, развијених *FMC/FMS*, са циљем проналажења бољег решења, како конструктивног тако и управљачког, са којег разлога се, предходно, приступило декомпозицији процеса, а потом анализи.

Посебна пажња била је усмерена на *RFID* сензорску технологију која је примењена за идентификацију делова, дефинисање података *NC* секвенци, као и на роботске секвенци сваког дела. Резултати декомпозиције процеса су се показали као релевантна основа за утврђивање применљивих потпроцеса и активности за пројектовање презентираниог модела управљања *DFMC*. При том су поређења процеса и потпроцеса пружала могућност идентификације критичних места процеса.

Хипотеза је проверена и доказана детаљном анализом релевантне литературе која је настала пре и после пријаве дисертације као и детаљном анализом изведених система управљања који се базирају на хетерохијерархијској организационој структури.

Ова хипотеза представља основу даљег истраживања и анализе у дисертацији.

Могуће је остварити аутоматску идентификацију делова, оптимално и динамичко планирање задатака и дистрибуцију делова интеграцијом нове опреме у постојећу архитектуру.

Применом *RFID* технологије у систему управљања омогућена је, не само аутономна дистрибуција делова и мониторинг система, већ и аутономно решавање управљања технолошким и манипулационим процесима унутар *FMC*-а.

Уградња сензорске опреме у флексибилну ћелију омогућује идентификацију делова, читањем *RFID* тага. Конкретно, читањем: референтног броја, записа намењеног *CNC* машинама, и записа намењеног роботу тј. опште транспортном систему *FMC*-а. Када је прочитан таг, на основу добијених података могуће је, даљом софтверском обрадом, генерисати процес, доделом редоследа реализације уз перманентно ажурирање које се одвија у реалном времену. Идентификован процес тече у реалном времену унутар флексибилне ћелије која, са своје стране, може да спроводе одређене процесне операције на делу, примењујући тачно предвиђене, програме за: *CNC* машине, робот и пратећу опрему. Број имплементираних места за читање/писање тагова зависи од динамике и учесталости записа које намеће технолошки поступак. Применом параметарског програмирања управљачки системи *CNC* машина су добили способност да приме било који случајни програм, ненајављен, односно непланиран, или већ додељен из палете делова подобних за обраду у флексибилној ћелији.

Могуће је идентификовати утицајне факторе за побољшање управљања и мониторинга.

Управљачка архитектура заснована на агентима представља децентрализовани систем архитектуре која подразумева одговарајући ниво развоја рачунарске технологије, те тиме прати експанзиону тенденцију рачунарске технологије, као и комуникационе и размене информација, због чега је послужила као основа за унапређење модела управљања *FMC*-а.

Дисертација разматра мулти-агентну архитектуру која је предложена за подршку дизајна, имплементацију и интероперабилност *RFID* технологије чиме омогућава дистрибутиван систем управљања и надзора за *FMC*. Агенти који чине архитектуру имају задатак да омогуће флексибилност, агилност и реконфигурабилитет процеса. Задужења агената се првенствено односе на дистрибуцију делова и правилно одвијање процеса. Предложена вишенаменска архитектура садржи различите групе агената на нивоу *FMC*, као и инжењерске алате који су подршка сваком агенту (или групи агената) и доприносе договорима између агената (онтолошки приступ решењу).

Агенте у предоченом моделу одликује аутономија, самодговорност, самоопоравак, која технологија је главни аспект производног система. Аутономност агената огледа се у контроли унутрашњег стања и у адекватном понашању са окружењем. Агенти показују одређену врсту интелигенције у примени фиксног правила о способности (реаговању) резонувања, планирања и учења. Такође, агенти ступају у интеракцију са својим окружењем, и у заједници са другим агентима чине мулти-агентску структуру. Систем мулти-агената функционише као целина, заједница интерактивних агената. Одређени агенти се налазе у окружењу које обухвата друге агенте (нпр. агент планирања налога се налази у окружењу агента планирања процеса) чиме се поспешује њихова комуникативност. Агенти, заступљени у моделу управљања *FMC*, су идеално прилагодљиви, односно способни да по својој мери одреде своје понашање у зависности од променама у окружењу, без интервенције свог дизајнера. Агент као рачунарски

систем налази се у динамичком окружењу (нпр. агент управљања процесом), а способан је да испољава аутономно и интелигентно понашање.

Посматрани проблеми могу се карактерисати и као динамички проблеми који се могу решити применом анализе и оптимизације

Током истраживања, како анализом теоријских поставки комуникационих веза тако и експериментално, наметнуо се закључак да избор обрадног система има кључну улогу. Количина података пренета путем *RFID* директно зависи од избора компонената *FMC*. Посматрано са стране компоненте, технолошки подаци могу бити обимни што за последицу има функционалну процесну подељеност (део процесна на функционалне сегменте или идентификационе сегменте) и вишеструко читање/писање на тагу. Анализом манипулативних података присутних у *FMC* може се извести закључак да избор неадекватног обрадног система може утицати на повећано манипулисање обратком у циљу остварења технолошких захтева (нпр. базирања и стезања). Због наведених проблема, а ради њиховог решавања у дисертацији је урађена анализа *RFID* података за два типа функционално сличних флексибилних ћелија које се разликују само у типу *CNC* струга (*FMC1* има стандардни тип револверске главе, а *FMC2* има погођене алате у револверској глави). Посматрањем ових обрадних система, анализом одређених групација делова, усвојеној према *PERA*, може се установити различитост њихових технолошких поступака и манипулативних захтева. Спроведена анализа за оба типа *FMC* према количини *RFID* података, применом *Dempster-Shafer* теорије функције уверења уз подршку софтверског алата (*McEvidence*) даје резултате који оправдавају избор компонената према анализираној групацији делова. Варирајући елементи су структура и количина узорковане групе, према потребним *RFID* подацима. Флексибилна ћелија је посматрана као јединствени обрадни систем који испуњава захтеве поступака. Извршени избор компоненти *FMC* у теоријском смислу има неосетљивост према моделу управљања, због чега у фази, евентуалне, реализације изнето ваља имати у виду.

На основу изложеног проистиче могућност пројектовања новог/их софтверског/их пакета, који ће омогућити подршку флексибилнијем и ефективнијем процесу у области флексибилне производње.

8 ЛИТЕРАТУРА

- Arendarenko, E. (2009). *A study of comparing RFID and 2D bar code tag technologies for pervasive mobile applications*. Joensuu: University of Joensuu.
- A.Seshanka Venkatesh, K.Vamsi Krishna, N.K.R.Swamy, & P.Simhachalam. (2016). Robot Navigation System with RFID and Ultrasonic Sensors. *International Journal of Engineering Research & Science (IJOER)*, 2(9), 92-96.
- Avižienis, A., Laprie, J.-C., Randell, B., & Landwehr, C. (2004). Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 1(1), 11-33.
- Ayatollahi, B. Kittl, F. Pauker, & Hackhofer M. (2013). Prototype OPC UA Server for Remote Control of Machine Tools, *Conference: IN-TECH 2013 Proceedings of International Conference on Innovative Technologies*, Budapest
- Browne J. (1988). Production activity control—a key aspect of production control. *International Journal of Production Research*, 26(3), 415–427.
- Chen, RS., Tu, MA., & Jwo JS. (2010). An RFID-based enterprise application integration framework for real-time management of dynamic manufacturing processes. *Int J Adv Manuf Technol* 50,1217–1234
- Christensen, HI. (2013). *A Roadmap for US Robotics - From Internet to Robotics*
- Duffie, NA. & Prabhu, VV. (1994). Real-time distributed scheduling of heterarchical manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems* 13(2), 94–107.
- Đapić M. (2005), Evidencioni sistemi u razvoju proizvoda i procesa, *Monografija br.9 iz serije Inteligentni tehnološki sistemi*, LOLA Institut, Beograd.
- Đapić M., & Milačić V. (1995), Merenje parcijalne tehnološkičnosti konstrukcija mašinskih sistema primenom matematičke teorije evidencije, Beograd: *21 JUPITER konferencija, 17 simpozijum NU*ROBOTI*FTS*, 3.65-3.70.
- Geekologie. „Self-Healing Robot Skin Grows Back Together When Cut”. Прегледо 6.5.2020 ca <http://geekologie.com/2013/09/self-healing-robot-skin-grows-backtoget.php>
- Gerber C., Hanisch, HM. & Ebbinghaus, S. (2008). From IEC 61131 to IEC 61499 fordistributed systems: A case study. *EURASIP Journal of Embedded Systems*, doi:10.1155/2008/231630
- G.Mirkov, Z. Bakić & M. Đapić. (2019), RFID tehnologija u službi fleksibilnog programiranja CNC mašina. *IMK-14 – Istraživanje i razvoj u teškoj mašinogradnji* 25(2), 31-41, UDC 621 ISSN 0354-6829

- G.Mirkov, Z. Bakić & M. Đapić. (2019). RFID technology in the function of generating flexible robotic sequences of the FMC. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(12), 1-12.
- G.Mirkov, Z. Bakić & R. Žunjanin. (2017). Analiza mogućnosti primene radio frekventne identifikacije u procesu fleksibilne proizvodnje. *Tehnika-Mašinstvo*, 852-864, doi: 10.5937/tehnika1706852M
- Grzegorz, N. (2009). Optimization of Execution Speed of the CNC Parametric Part Programs. *Advances in Manufacturing Science and Technology*, 33-44
- Hatvany J. (1985). Intelligence and cooperation in heterarchic manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2, 101–104.
- Hetal, N. Fitter, Akash B. Pandey, Jitendra M. Mistry & Divyang D. Patel. (2014). Comparison of Parametrically Programmed Machining with CAM System Machining for C⁰ Continuity Bezier Curves Based on Various Parameters. *Published by Elsevier Ltd*, 1167-1177, doi: 10.1016/j.proeng. 2014.12.395
- Huang, G.Q., Zhang, Y.F., & Jiang, P.Y. (2007). RFID-based wireless manufacturing for walking-worker assembly islands with fixed-position layouts. *Robot and Com-Int Manuf*, 23(4), 469–477.
- Huang, G.Q., Zhang, Y.F., & Jiang, P.Y. (2008). RFID-based wireless manufacturing for real-time management of job shop WIP inventories. *Int J Adv Manuf Technol*, 36(7–8), 752–764.
- Huang, G.Q., Zhang, Y.F., Chen, X., & Newman, S.T. (2008). RFID-enabled real-time wireless manufacturing for adaptive assembly planning and control. *J Int Manuf*, 19, 701–713.
- Hvilshoj M., & Bogh, S. (2011). Little Helper-An autonomous industrial mobile manipulator concept. *Internation Journal of Advanced Robotic Systems*, 8, 80-90.
- IEC (2003a) IEC61331-1, Part 1: General information. Препузето 10.3.2016 ca <http://www.ims.org/>
- IEC (2003b) IEC61804-1, Function blocks for process control - Part 1: Overview of system aspects. IEC. Препузето 14.2.2016 ca <http://www.ims.org/>
- IEC (2005) IEC61499-1, Function Blocks - Part 1 Architecture. Препузето 12.3.2016 ca <http://www.ims.org/>
- IEC (2010a) IEC61158, Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part1: Overview and guidance for the IEC 61158 and IEC 61784 series. Препузето 12.3.2016 ca <http://www.ims.org/>

- IEC (2010b) IEC 61784, Industrial communication networks - Profiles - Part 1: Fieldbus profiles. IEC. Прейзето 12.3.2016 ca <http://www.ims.org/>
- IEC (2010c) IEC61804-3, Function blocks for process control - Part 3: Electronic DeviceDescription Language (EDDL). IEC. Прейзето 12.3.2016 ca <http://www.ims.org/>
- IEC (2013) IEC61131-9, Function Blocks - Part 9 Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI). IMS2012. Прейзето 12.3.2016 ca <http://www.ims.org/>
- ISO/IEC 14443-3:2011 Identification cards -- Contactless integrated circuit cards – Proximity cards -- Part 3: Initialization and anticollision. Прейзето 2.3.2016 ca <http://www.ims.org/>
- ISO/IEC 14443-4:2016 Identification cards -- Contactless integrated circuit cards – Proximity cards -- Part 4: Transmission protocol. Прейзето 2.3.2016 ca <http://www.ims.org/>
- Jeng, J-J., Schiefer, J., & Chang, H. (2003). An agent-based architecture for analyzing business processes of real-time enterprises. In: *IEEE proc. enterprise distributed object computing conference*, 86–97.
- Koestler A. (1989). *The ghost in the machine*. London, Arkana.
- Lin, F.R., Tan, G.W., & Shaw, M.J. (1998). Modeling supply-chain networks by a multi-agent system. In: *IEEE proc. thirty-first annual Hawaii international conference on system science*, 05–114.
- Liu, MR., Zhang, QL., Ni, LM., & Tseng, MM. (2004). An RFID based distributed control system for mass customization manufacturing. *Lect Notes Comput Sci* , 1039–1049.
- Liu, M.R., Zhang, Q.L., Ni, L.M., & Tseng, M.M. (2004). An RFID-based distributed control system for mass customization manufacturing. *ISPA 2004: Parallel and Distributed Processing and Applications*, 1039–1049.
- Liu, C.M., Chen, L.S., & Romanowski, R.M. (2009). An electronic material flow control system for improving production efficiency in integrated-circuit assembly industry. *Int J Adv Technol*, 42, 348–362
- Lu, BH., Bateman, RJ., & Cheng, K. (2006). RFID enabled manufacturing: fundamentals, methodology and applications. *Int J Agile Syst Mana*, 1(1), 73–92.
- Makrisa, S., Michalosa, G., Eytanb, A., & Chryssolourisa, G. (2012). Cooperating Robots for Reconfigurable Assembly Operations. *Procedia CIRP*, 3, 346-351.
- M Al'Hapis, A Razak & Ahmad Zakaria. (2012). A Framework for a Feature Based Machining Using Macro. *Applied Mechanics and Materials*, 110-115, 1711–1715.

- Manocher Djassemi. (1998). A Parametric Programming Technique for Efficient CNC Machining Operations. *Computer and Industrial Engineering*, 35(1), 33–36.
- M.A. Razak, M.R. Ibrahim, S. Sulaiman, A. Jusoh, & A. Zakaria, (2013), Parametric Programming in Feature-Based Machining, *International Journal of Engineering & Technology Sciences (IJETS)*, ISSN 2289-4152, 1(4): 218-225
- McFarlane D., Sarma S., Chirn J.L., Wong C.Y., & Ashton K. (2003). Auto ID systems and intelligent manufacturing control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(4), 365–376.
- M.L. Wang, T. Qu, R.Y. Zhong, Q.Y. Dai, X.W. Zhang & J.B. He. (2012). A radio frequency identification-enabled real-time manufacturing execution system for one-of-a-kind production manufacturing: A case study in mould industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(1), 20–34.
- Mike Lynch (1997). *Parametric Programming for Computer Numerical Control, Machine Tools and Touch Probes*, Society of Manufacturing Engineers Customer Service One SME Drive Dearborn, Michigan 48121
- Mike Lynch (15. mart 2016). Variable in Custom Macro, *Modern Machine Shop*, 72-74
- Modelovanje aplikacije korišćenjem UML-a, pristupljeno i prilagođeno 10.10.2020 sa <https://www.vps.ns.ac.rs/Materijal/mat540.pdf>
- Monostori, L., Váncza, J., & Kumara, SRT. (2006). Agent-based systems for manufacturing. In: *The International Academy for Production Engineering CIRP (ed) CIRP Annals Manufacturing Technology 55. 2nd ed*, 697–720.
- M.R Liu, Q.L. Zhang, L.M. Ni, & M.M. Tseng, (2011), Fundamental technology for RFID-based supervisory control of shop floor production system, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer-Verlag, 57(9), 1123-1141, doi: 10.1007/s00170-011-3358-7.
- M. Razak, A. Jusoh & A. Zakaria (2012), Feature-Based Machining using Macro, *International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering* 6(8), 1107-1111.
- M. Weck, Jochen Wolf & Dimitris Kintsis, (2001). STEP-NC – The STEP compliant NC Programming Interface, Преузето 12.4.2018 са <http://alvarestech.com/temp/nist2010/joao/CuttingToolRequirement/STEPNCProgramming1.pdf>
- Obitko, M., & Marik, V. (2002). Ontologies for multi-agent systems in manufacturing domain. In: *Proceedings of IEEE 13th international workshop on database and expert systems applications*, DEXA

- Onori, M., Akillioglu, H., & Hofmann, A. (2011). An evolvable robotic assembly cell. Прейзето 12.10.2020 ca <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:439255/FULLTEXT01.pdf>
- Ozan, Erenay, Majid Hashemipour, & Sinan Kayaligil. (2002), Virtual reality in requirement analysis for CIM system development suitable for SMEs, *International journal of production research, Taylor & Francis Ltd*, 40(15), 3693-3708, doi:10.1080/00207540210158843
- PERA - Production Engineering Research Association (1969), *Survey of Machining Requirements in Industry*, Published and Produced by PERA, Melton Mowbray, UK, 1969.
- Pétin, J.F., Gouyon, D., & Morel, G. (2007). Supervisory synthesis for product-driven automation and its application to a flexible assembly cell. *Control Eng Pract*, 15:595–614.
- Poon, T.C., Choy, K.L., & Lau, H.C.W. (2007). A real-time shop floor control system: an integrated RFID approach. *Int J Enterp Network Manage*, 1(4),331–349.
- Programming Guide 10/2004 Edition, 6FC5 298-7AB10-0BP1, Sinumerik
- Qiu, R.G. (2007). RFID-enabled automation in support of factory integration. *Robot and Com-Int Manuf*, 23, 677–683
- R. Abrishambaf, M. Hashemipour, & M. Bal. (2013). Structural modeling of industrial wireless sensor and actuator networks for reconfigurable mechatronic systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer-Verlag, 64(5), 793-811, doi: 10.1007/s00170-012-4070-y
- Rafał Gołębski. (2017). Parametric programming of CNC machine tools. MATEC Web of Conferences 94, doi: 10.1051/mateconf/20179407004
- Ron Gainer & Dan Murphy. (2013). Parametric Programming PMPA NTC. Прейзето 12.3.2016 www.pmpa.org/docs/technical-conference/CNC-programming-workshop.pdf
- Ruey-Shun Chen, Mengru Arthur Tu, & Jung-Sing Jwo. (2010). An RFID-based enterprise application integration framework for real-time management of dynamic manufacturing processes. *Int J Adv Manuf Technol*, 1217-1234.
- Russell, S.J., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence. A modern approach*. 3rd ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, ISBN 0-13-103805-2.
- R.V.Barenji, A.V. Barenji, & M.Hashemipour. (2014). A multi-agent RFID-enabled distributed control system for a flexible manufacturing shop. *The International Journal of*

Advanced Manufacturing Technology, Springer London, 71(9), 1773-1791, doi:10.1007/s00170-013-5597-2

Saša T. Živanović, & Goran V. Vasilić. (2017). A New CNC Programming Method Using STEP-NC Protocol, *FME Transactions*, 45, 149-158

Slota, A. & Malopolski, W. (2007). Integration of simulation software Arena with FMS Control System, *Int J Simul model*, ISSN 1726-4529, 165-172

Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press.

Shenoy, P.P. (1992), *Valuation-Based Systems: A framework for managing uncertainty in expert systems*, New York: John Wiley & Sons.

Sotiris Makris, George Michalos, & George Chryssolouris. (2012). RFID driven robotic assembly for random mix manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 359–365.

Swaminathan, J.M., Smith, S.F., & Sadeh, N.M. (1998). Modeling Supply chain dynamics: a multiagent approach. *Decis Sci*, 29(3), 607–632

Tan Zhang , Weњun Zhang & Madan M. Gupta. (2018). An underactuated self-reconfigurable robot and the reconfiguration evolution. *Mechanism and Machine Theory*, 124, 248–258.

Travis Deyle, Matthew S. Reynolds, & Charles C. Kemp. (2014). Finding and Navigating to Household Objects with UHF RFID Tags by Optimizing RF Signal Strength. *Conferece: 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*, doi: 10.1109/IROS.2014.6942914

van Brussel, H., Bongaerts, L., Wyns, J., Valckenaers, P., & van Ginderachter, T. (1999). Aconceptual framework for holonic manufacturing: Identification of manufacturing holons. *Journal of Manufacturing Systems*, 18(1), 35–52.

van Dyke Parunak H. (1998). What can agents do in industry, and why? An overview of industrially-oriented R&D at CEC. CIA 1998: Cooperative Information Agents II Learning, Mobility and Electronic Commerce for Information Discovery on the Internet, Berlin Heidelberg, *Springer*, 1–18.

Veeramani, D., Bhargava, B., & Barash, MM. (1993). Information system architecture for heterarchical control of large FMSs. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 6(2), 76–92.

Vivek Kumar, S. Srinivasan. (2010). A Review of Supply Chain Management using Multi-Agent System. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 7(5), 198-205.

Vyatkin, V. (2011). IEC 61499 as Enabler of Distributed and Intelligent Automation: State of the-Art Review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 768–781.

- Wang, H., & Zhang, H. (2010). A distributed and interactive system to integrated design and simulation for collaborative product development. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26, 778-789
- Wang, JH., Luo ZW., & Wong, EC. (2010). RFID-enabled tracking in flexible assembly line. *Int J Adv Manuf Technol*, 351-360.
- Wikipedia, RFID. Прегледо 15.9. 2016 ca https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification
- Wikipadia, ISO/IEC. Прегледо 15.9.2016 ca https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_14443
- Wyld, D. (2006). RFID 101: The next big thing in management. *Management Research News*, 29(4), 154–173.
- Xu, H. (1997). *Uncertain Reasoning and Decision Analysis using Belief Functions in the Valuation-Based Systems*. Doctoral Thesis, Free University of Brussels, Belgium.
- Yulu, Fu, Changlong Wang, Ran Liu, Gaoli Liang, Hua Zhang, & Shafiq Ur Rehman. (2018). Moving Object Localization Based on UHF RFID Phase and Laser Clustering. *Sensors, MDPI*, 18(3), 1-18.
- Zhang, W. J., & Lin, Y. (2010). On the Principles of Design of Resilient Systems and its Application to Enterprise Information Systems. *Enterprise Information Systems*, 4(2), 99-110.
- Zhu Xiurongand & Zhang Guangcheng (2016). CNC Lathe Programming and Machining of Thin-walled Parts Macro Program, *International Conference on Education, Management, Computer and Society*, 418-422.
- Z.Q. Liu (2001), Methodology of Parametric Programming for Error Compensation on CNC Centres, *Int J Adv. Manuf Technol*, 17, 570–574.

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Лични подаци

Рођен сам у Београду 25.01.1956. Диплому Машинског факултета - Универзитета у Београду у својству дипломираног машинског инжењер одсека за производно машинство, стекао сам 1981 год. са просечном оценом 7.45, а дипломирао са оценом 9.

Радно искуство:

- „Индустија машина и трактора” а.д. Београд. Конструктор и консултант за више специјалних машина алатки и алата (машине за дубоко бушење, машина за бушење и резање навоја за део дуплих прстију косачице ИМТ-Бољевац, раме хидраулика, конструкција лоренц ножева ...) као и реконструкција тада постојећих машина алатки. (1981-1986.)
- „Политехничка Академија“, Нови Београд. Асистент на предмету „Одржавање CNC система” (до 2010) и стручни сарадник – администратор software Pro Engineer (сада Сгео). Професор машинске групе предмета. (Аутоматизација производње Флексибилни производни системи,, Компјутерска графика, Моделирање машинских елемената и конструкција, и др.)
- „Политехника“ – школа за нове технологије Нови Београд на радном месту професора машинске групе предмета као што су Моделирање машинских елемената и конструкција, Флексибилни производни системи.

Додатно искуство:

- „Ингомонт“ д.о.о., Београд (овлашћени предствник фирме „HASCO” у Р.Србији). Стручни сарадник и консултант за област пројектовања алата за ињекционо бризгање пластике. (2002 - данас.)
- „Завод за унапређење образовања и васпитања“ Републике Србије – Центар за развој програма и уџбеника – Сектор за средње стручно образовање и васпитање. Послови учешћа у “стручним тимовима и комисијама” (државна матура, планови, програми, стручна мишљења, консултантске услуге, стратегија развоја образовања и васпитања, сажимање – редукација градива). Активно ангажовање у раду стручних тимова на изради планова и програма и редукацији изборних предмета машинске струке за средње образовање; Више написаних стручних мишљења и оцена за рукописе уџбеничке литературе за средње школе.
- „Завод за уџбенике и наставна средства“, Београд (од 1992. - данас). Аутори и коаутор уџбеника машинске струке за средње школе. Аутор електронске књиге у средњем образовању. Редактура више рукописа и написаних рецензија дела уџбеничке литературе за средње школе. Поменуто искуства се односе на области компјутерског конструисања и пројектовања, CNC технологије, аутоматизације производње, машинских елемената и др.
- Основао и водио фирму „Pro/Ing” о.д. Београд. Предузеће за пројектовање и инжењеринг. (1995-2002.) У оквиру ове делатности осмислио и заједно са сарадницима реализовао систем софвера за симулацију и аутоматско програмирање дидактичких CNC машина EMCO (Austria), а исти је на основу одобрења Министарства просвете коришћен у школама Републике Србије и Северне Македоније (software APCAM сличан програмском језику АРТ, и сам

АРТ као и симулације CNC глодалице и CNC струга јер их наведене машине нису имале).

- Учесће на пројекту стручне и опште државне матуре.

Списак осталих радова:

1. Глигорије Мирков: CNC-техника 1, Завод за уџбенике, Београд, ISBN 86-17-10057-5, (2003),
2. Глигорије Мирков: CNC-техника 2, Завод за уџбенике, Београд, ISBN 86-17-10062-1 (2003),
3. Глигорије Мирков: Моделирање машинских елемената и конструкција за III разред машинских шк., Завод за уџбенике, Београд, ISBN978-86-17-150009-7 (2009),
4. Глигорије Мирков, Зоран Милојевић, Зоран Бакић: Моделирање машинских елемената и конструкција за IV разред машинских шк., ISBN 86-17-10652-2, Завод за уџбенике, Београд, (2004),
5. Глигорије Мирков: Моделирање машинских елемената и конструкција 1 -збирка решених примера - за III разред, Завод за уџбенике, Београд, ISBN86-17-12057-6 (2005),
6. Глигорије Мирков: Моделирање машинских елемената и конструкција 2 –збирка решених примера - за IV разред, Завод за уџбенике, Београд, ISBN 86-17-14050-0 (2007),
7. Глигорије Мирков, Зоран Бакић: Компјутерска графика за II разред, Завод за уџбенике, Београд,ISBN 978-86-17-18710-9 (2014),
8. Глигорије Мирков: Аутоматизација производње и флексибилни производни системи 1 за III разред машинских шк., ISBN 86-17-02339-2, Завод за уџбенике, Београд, (2005),
9. Глигорије Мирков, Зоран Бакић: Аутоматизација производње и флексибилни производни системи 2 за IV разред машинских шк., ISBN 978-86-17-16603-6, Завод за уџбенике, Београд, (2010), и
10. Глигорије Мирков, Зоран Бакић: Машински приручник- CD, Завод за уџбенике, Београд.

• Страни језици

У свом научно-истраживачком раду, кроз читање, писање и конверзацију, успешно се служим енглеским и немачким језиком.

• Боравци и усавршавања у иностранству

Специјализацију из области CNC технологије завршио сам у фирми ZF (Zahnrad Fabrik), Friedichafen, Germany и „R&S Keller GmbH“, Wuppertal, Germany.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Глигорије Мирков, изјављујем да докторска дисертација под насловом:

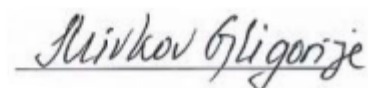
Модел управљања дидактичким флексибилним ћелијама применом технологије радиофреквентне идентификације

која је одбрањена на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,
- да умножени примерак докторске дисертације у штампаној и електронској форми у чијем се прилогу налази ова Изјава садржи докторску дисертацију истоветну одбрањеној докторској дисертацији.

У Београду, 30.8.2021. године,



потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Глигорије Мирков,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

Модел управљања дидактичким флексибилним ћелијама применом технологије радиофреквентне идентификације

која је одбрањена на Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу, и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

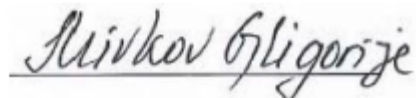
не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

у Београду _____, 30.8.2021. године,



потпис аутора