

Глигорије Мирков¹
Миладин Стефановић²
Милица Герасимовић³

ИНДУСТРИЈА 4.0: НЕКИ АСПЕКТИ РАЗВОЈА ДИДАКТИЧКИХ FM

Rezime: У раду је разматран савремени концепт модела управљања FMC намењен образовању у складу са стратегијом индустрије 4.0. Концепт управљања дидактичког наставног средстава треба да се базира на интелигентном повезивању машинства, електронике и софтвера, што даје допринос одговору на развој нових технологија и пословних модела. Подржана је интеграција десетине технологија од којих су се неке развијале деценијама уназад, али се, такође, свакодневно развијају нове технологије које су укључене у ову концепцију. Машински инжењери и специјализовани техничари обучавани на оваквим или сличним наставним средствима су оспособљени за формирање сајбер-физичких система у области пројектовања, конструкције и производње.

Кључне речи: Индустрија 4.0, CPS, образовање, FMC, RFID, IoT

1. Uvod

Управљање флексибилним производним системима, има изузетан значај, од самог настанка, па све до данас када аутоматизација и флексибилност, поред осталих захтева, представља кључне аспекте компјутером интегрисане производње и Индустрије 4.0.

Управљање се може вршити на различитим нивоима, почев од рачунарског управљања појединим јединицама производног система у реалном времену; управљање производним ћелијама, ћелијама за монтажу, мерење и контролу, и транспортним системима као и на координацију и контролу рада комплетног флексибилног производног система.

Увођење нових технологија које припадају оквиру који чини Индустрија 4.0 (као што су савремене инфограционо – комуникационе технологије, унапређен

ниво аутоматизације и сл.) у значајној - квалитативној мери мења концепт производних система, како начин њиховог управљања, тако и функционисања производних система. То је разлог због ког се модел управљања дидактичке FMC (DFMC) посмара кроз призму индустрије 4.0.

Четврту индустријску револуцију карактерише производња помоћу кибернетско-физичких система (CPS), заснованих на интеграцији података и знања. Главне улоге CPS су да испуне:

- динамичне захтеве производње и да побољшају ефикасност, као и
- степен искоришћења читаве индустрије.

Индустрија 4.0 обухвата бројне технологије које су укључене у хоризонталну и вертикалну интеграцију, укључујући радиофреквентну идентификацију (RFID), интернет ствари (IoT), производњу засновану на облаку

(Cloud manufacturing), и многе друге.

Модел Индустрије 4.0 промовише повезивање и комуникацију физичких компоненти као што су сензори, уређаји и машине, како једних са другима, тако и са Интернетом. Према М. Milošević et.al (2019) производни процес је подељен на мале јединице између којих се размењују и деле информације о узастопним корацима процеса, што доприноси повећању флексибилности и смањењу сложености координације. Циљ Индустрије 4.0 је постизање вишег нивоа оперативне ефикасности и продуктивности, као и вишег нивоа аутоматизације. Главне карактеристике Индустрије 4.0 су дигитализација, оптимизација и прилагођавање према захтевима производње; аутоматизација и флексибилност; интеракција човека и машине (HMI); аутоматизована размена података и комуникација. Ове карактеристике не само да су високо повезане са интернет технологијама и напредним интелигентним алгоритмима, већ указују и на то да је Индустрија 4.0 процес стварања нове вредности и управљања знањем.

Дигитализација производње омогућава да људи, производи и производни погони буду интелигентно умрежени. Ово ствара потенцијал за повећање квалитета, ефикасност и транспарентност производње. Симулација и виртуелно пуштање у рад (Digital Twin) штеде време и новац пружајући јасан и ефикасан алат за обуку и истраживање. Могуће је пребацивање између стварног система и симулације како би се користила одговарајућа перспектива за сваку сврху. У модерној, умреженој фабрици, машине и радни комади комуницирају једни са другима, као и са ERP (Enterprise Resource Resource Planning) системима и MES (Manufacturing Execution Systems). Повећање рачунарске снаге омогућава анализу и класификацију огромних количина података који се могу користити

за доношење профитабилних закључака. Сервисирање машина и опреме је олакшано и убрзано дигитализацијом у фабрици. Маchine могу самостално наручити предстојећи сервис, а аутоматизована евалуација застоја омогућава ефикасно унапређење процеса. Индустријски роботи добијају на значају када је у питању аутоматизовано и оптимално склапање производа и варијанти истих. Из тог разлога, флексибилне ћелије са роботским компонентама/системима обично чине суштинско језгро целокупног система у CP фабрици.

Са развојем Интернет ствари (IoT, Internet of things), а нарочито са појавом и најширом доступношћу RFID система и могућности њихове примене у производним и пре свега флексибилним системима, појављује се поуздан метод аутоматског прикупљања информација и идентификације ресурса у реалном времену. Сходно томе, подаци о производу и процесу могу бити прикупљани, размењивани, обрађивани и чувани у систему, и сходно томе могу бити примењивани за унапређење флексибилности или тражених перформанси производних система односно померање ка парадигми интелигентне производње. У овом моменту се могу идентификовати значајна питања везана за могући примену RFID технологије у оквиру флексибилних система и то: развој оквира базираном на RFID за интеграцију аутоматизованих производних система и менаџмент информационих система у фабрикама при чему RFID технологија омогућава следљивост у реалном времену, видљивост и интероперабилност у циљу унапређења перформанси система.

Примена RFID уређаја пружа нове могућности моделовања FMC (Flexible Manufacturing Cell – флексибилна производна ћелија) чиме се отварају нови правци при пројектовању, у циљу

постизања, првенствено, већа флексибилност. Децентрализовано управљање у FMC-у, засновано је на систему рачунарске интелигенције, користи информације које носе RFID tag-ови. Ове информације са RFID tag-ова применом адекватних софтверских решења дају могућност управљања која су по свом карактеру интелигентна, прилагодљива и активна у проналажењу поступка производње. Подаци за производњу појединачних обрадака (нпр. специфичне операције, технолошки поступци, квалитет, време, приоритет) могу се уписати путем RFID технологије на адекватан носач информација (tag) који је повезан са компонентом, што децентрализује процес управљања, а сам процес чини флексибилнијим. Правилно распоређени RFID читачи у радном окружењу тј. у близини производне линије имају улогу праћења, контроле и детекције објеката. Овако заснован систем би требало потенцијално да обезбеди високу флексибилност система што је и предмет истраживања.

Ограничена флексибилност и недовољна брзина одзива на брзе промене производног програма код класичне FMC архитектуре може бити потенцијално недокнадива применом RFID технологије, а огледа се у повећању способности подређених рачунара унутар система, односно рачунари унутар система добијају на значају у односу на пређашњу делимичну аутономну контролу. Флексибилни систем у новонасталој ситуацији добија нову улогу, а задатци који се реализују су сложенији, предходно непознати управљању, тј. непредвидиви, обрађивани у реалном времену процеса или у посебним случајевима, позивани из меморије рачунара управљачког система.

2. Стање FMC (DFMC)

При функционисању класичних флексибилних система, у посматреном

случају дидактичких 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, а нарочито је изражена код делова мањег габарита и сложеније конфигурације.

Други проблем је везан за мали број контролисаних улазно-излазних функција и непотпуну интеграцију DNC (Direct Numerical Control) у систем управљања. Ови недостатци директно утичу на измену програма у управљачким јединицама чиме је смањена флексибилност целокупног система. Један од могућих проблема унутар флексибилног система је и привремено одлагање делова у приручном складишту.

Како се проучава дидактички флексибилни обрадни систем то се у ову проблематику морају уврстити и елементи наставног процеса (безбедност, очигледност, дуална контрола процеса и верификација написног програма, и др.) као и избор адекватних компоненти које чине систем као целину. Како се у свету овом проблематиком бави мали број фирми то се решење морају потражити у лабораторијама високошколских установа које у циљу правилног наставног процеса морају одређене програмске кодове оставити отвореним, а све у циљу специфичности интегрисане опреме, наставног процеса, одржавања, машинског учења или реинжињеринга.

3. Преглед литературе посматран кроз призму флексибилности Индустије 4.0

Компаније теже интерној флексибилности усвајањем технологије Индустије 4.0. Оне доживљавају технологије индустрије 4.0 као покретаче различитих стратегија

флексбилности интерне производње. У том смислу, налази показују да рачунарство у облаку, велики подаци, IoT и аналитика података (укључујући технике вештачке интелигенције) утичу на све димензије флексбилности. Стога се могу окарактерисати као технологије опште намене или основне технологије за подршку могућностима флексбилне производње (Frank et al., 2019). Ове технологије саме по себи не обезбеђују флексбилност, али омогућавају идентификацију и следљивост производа, машина и материјала и обезбеђују податке у реалном времену о раду, омогућавајући брже доношење одлука. Резултати анализирани студије као и неке друге показују, постизање различитих димензија флексбилности које великој мери зависе од специфичних фактора производње као што су обим производње компаније, врста процеса, разноликост производа, животни циклус и сложеност.

Dalenogare et al. (2018) су указали на резултате истраживања који показују да компаније траже флексбилност углавном кроз улагања у опрему. Једно од кључних питања је: Зашто индустрије не постижу оперативну флексбилност као једну од њихових главних користи од Индустрије 4.0? Објашњење је предочено у одговору да фабрика предусловљава улагања у Индустрију 4.0, ограничавајући шта компаније могу да имплементирају за флексбилне производне линије. Потреба за инвестицијама за унапређење инфраструктуре предузећа представља један од највећих изазова за постизање флексбилности наводе Contador et al. (2020).

Резултати анализа су показали да је у компанијама са великим асортиманом производа и кратким животним циклусом имплементација напредних технологија као што су роботи је отежана јер се морају често репрограмирати, повећавајући време производње и трошкове. У таквим случајевима, технологије које повећавају

продуктивност и флексбилност рада су много корисније јер су радници и даље најфлексбилнији део производног система (Dornelles et al., 2021). С друге стране, компаније са великим обимом и ниским варијантима производних окружења захтевају високо аутоматизоване машине специјалне намене да би постигле тржишну конкурентност. Овај компромис између продуктивности и флексбилности је у складу са просторима масовне производње, што илуструју проблеми са колаборативним роботима, који су веома флексбилни, али стално престају да раде.

Адаптација радника на технологије Индустрије 4.0 била је најчешће помињани изазов за флексбилност јер радницима тренутно недостаје неопходно знање и обука за руковање технологијама (Dornelles et al., 2021). Индустрија 4.0 захтева другачији тип радника, способног да обавља когнитивни рад, укључујући обраду података, тумачење информација и доношење одлука (Ortt et al., 2020). Оператери, такође, могу да учествују у дизајну и доношењу одлука, пружајући оперативне информације за већу флексбилност рада. Иако су ове технологије важне, њихов дизајн је и даље ограничен за ширу употребу. Ергономичнији и флексбилнији дизајн омогућава боље процесе конфигурације и помаже оператерима у сложенијим задацима (Longo et al., 2017). Упркос потенцијалу ових технологија да помогну радницима, њихова употреба је и даље ограничена, а само неколико компанија их користи у наменским производним апликацијама, као што су одржавање и инспекција квалитета (Holm, 2018).

Флексбилност тока материјала (обрадака) нуди могућност за производњу производа различитим путевима (рутама), повећавајући коришћење већег броја машина и смањујући време протока. Традиционално, аутоматизовани системи за руковање материјалом нису

дизајнирани да се могу реконфигурисати, а промене у распореду и смеровима протока материјала често захтевају значајно време застоја ради физичких модификација и репрограмирања. Применом технологија коришћених у Индустрије 4.0 отварају се нове могућности за стварање флексибилних система за руковање (манипулисање) материјалом, система управљања производњом (ERP, MES) и система за следљивост материјала, који су препознати као основне и суштинске технологије које омогућавају управљање многим материјалима унутар фабрика. Штавише, аутономна роботизована возила као што су AGV побољшавају флексибилност у смислу лакоће програмирања и аутоматске реконфигурације транспортних рута. Међутим, њихова употреба је и даље ограничена физичким аспектима производа, као што су величина и запремина транспортованих материјала.

Компаније се суочавају са озбиљним потешкоћама у остваривању флексибилности у производном процесу (у нашем разматрању обрада и рутирање). Ово је углавном зато што ове две врсте флексибилности у великој мери зависе од напора неопходних за флексибилно планирање и дизајн процеса и производа, као што је дизајн за производне технике. У том смислу, компаније дефинишу свој редослед операција и руте ради оптимизације времена производње и квалитета процеса, што ограничава флексибилност линија. У случају флексибилности рутирања, то може бити зато што захтева високу доступност алтернативних ресурса (Eiers et al., 2018). Уочено је да компаније које су проучаване првенствено се фокусирају на повећање квалитета и продуктивности; стога улажу у наменске ресурсе и опрему за сваку врсту производа, ограничавајући флексибилност рутирања (Eiers et al., 2018). У том циљу, технологије симулације могу бити важан

алат за менаџере да би се дефинисали нови планови рута (Chan et al., 2006).

У флексибилности операција, компаније су навеле да су промене у редоследу истих и даље велика препрека. Компаније теже да дефинишу производни редослед у складу са техничким захтевима производа или да оптимизују линију, што отежава утицај на промене редоследа. Алати за симулацију могу унапредити флексибилност операција јер омогућавају моделирање процеса и анализу за изналажење алтернативног секвенцирања операција. Стога су PLM и CAD системи корисни алати за превођење знања између области.

Резултати су такође показали значај других концепата који су фактори неподвижених околности за анализираних технологије Индустрије 4.0, као што је модуларност. Ови системи се могу интегрисати са CPS-ом за управљање сложеним, прилагођеним производним процесима и брзо прилагођавање производних капацитета и функционалности током времена (Morgan et al., 2021). Такође, очекује се да ће Lean алати, ERP и MES помоћи флексибилности када се комбинују са технологијама индустрије 4.0 (Marcon et al., 2022).

Андон системи у комбинацији са IoT-ом омогућавају опреми да реагује на упозорења о грешци, заустави рад или промени руте производа (Rosin et al., 2020). Електронски „Kanbani” (Kanban је визуелни сигнал који се користи да покрене акцију. Канбан је јапанска реч. Канбан је популаран метод управљања Леан токовима. Грубо преведено значи „картицу можете видети” (Википедија)) могу аутоматски да открију своје нивое залиха и наруче делове, омогућавајући разноврснију конфигурацију за различите дизајне производа (Marcon et al., 2022). Штавише, IoT могу осигурати да прави производи иду на праве радне станице и аутоматски преусмеравају производе у

случају грешака, што је део „Jidoka” (По дефиницији, Jidoka је „Lean” метода која је широко прихваћена у производњи и развоју производа. Такође познат као аутономија, то је једноставан начин да заштитите своју компанију од испоруке производа ниског квалитета или дефеката вашим клијентима док покушавате да одржите своје време такта. Јидока се ослања на четири једноставна принципа како би осигурала да компанија испоручује производе без кварова: откријте абнормалност, зауставите процес, решите тренутни проблем, и истражите и решите основни узрок.) принципа. Комплементарност ових концепата са факторима непредвиђених околности компаније је кључна за флексибилност и продуктивност.

4. Интеграције у дидактичким условима

Једна од главних карактеристика Индустрије 4.0 је интеграција. Индустрију 4.0 карактеришу три главна типа интеграције: хоризонтална интеграција, вертикална интеграција и интеграција од End-to-End (Kin, Liu i Grosvenor 2016). Liao et al. (2017) су прецизирали ове три врсте интеграција:

- Хоризонтална интеграција је интеграција различитих ИТ система који се користе у различитим фазама процеса производње и пословног планирања унутар компаније (нпр. улазна логистика, производња, излазна логистика, маркетинг) и између неколико различитих компанија (мреже вредности) (Kusiak 2017);
- Вертикална интеграција је интеграција различитих ИТ система на различитим хијерархијским нивоима (нпр. ниво актуатора и сензора, ниво производње и извршења,

производња ниво управљања и нивои корпоративног планирања) за испоруку решења од краја до краја; и

- Дигитална интеграција End-to-End представља интеграцију кроз читав процес инжењеринга тако да су дигитални и стварни свет интегрисани у целом ланцу вредности производа па и у различитим компанијама, истовремено укључујући и захтеве купаца.

Хоризонталну интеграцију у дидактичким условима можемо тражити у интеграцији сличних, независних технолошких образовних система на различитим нивоима. Ова интеграција симулира интеграцију која би настала између корпорација. Пример наведеног могла би бити интеграција између институција које поседују опрему која одговара Индустрији 4.0, и употпуњује дати технолошки процес.

Вертикална интеграција игра важну улогу у флексибилности рутирања и операција, пошто управљање флексибилним низом операција и рута захтева интегрисани систем. Вертикална интеграција омогућава да се информације о мешовитости производње шаље аутоматски свим подсистемима (радним станицама) у фази брзе промене производње.

Вертикалном интеграцијом паметне машине формирају самоорганизован систем који се може динамички реконфигурисати да се прилагоди различитим типовима производа; а масовне информације се прикупљају и обрађују како би производни процес био транспарентан.

5. Мулти агентски систем управљања DFMC заснован на макро програмирању и RFID

На слици 1. је приказана модификована блок шема модела управљања DFMC заснованог на мулти агенској структури, макро програмирању и RFID (Gligoriје, M. 2021).

Основне карактеристике приказаног модела управљања су:

- Носилац технолошких и манипулационих информација је RFID таг залепљен на обрадак (у случајевима комбиновања са палетним транспортом таг се може изместити на носач обратка тј. палету),
- Агенти и мулти агенти управљају процесима у приближно реалном времену (редоследа операција, реконфигурације система, надзор и др.) што повећава флексибилност DFMC,
- Основу транспортног система чини робот који има особину реконфигурабилности (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.),

- Модуларност DFMC остварива применом различитих типова флексибилних обрадних и адитивних машина као другачијом врстом транспортних система,
- Отворена модуларна структура треба да да могућност комбиновања, миксовања различитих интелигентних транспортних и манипулационих система у процесу производње,
- Отвореност софтверских кодова у циљу проучавања и анализе,
- Парцијални приступ подешавању и анализи процеса у DFMC, (припада Индустрији 3.0) и др.

6. Zaključak

Компетенције, исходи знања и вештина за „паметне” кадрове треба да буду осавремењени и унапређени укључивањем знања која су неопходна да би се реализовали захтеви стратегије Индустрија 4.0. Да би се спровело наведено потребно је обезбедити адекватна наставна средства која нуде: аутоматску идентификацију производа, планирање технолошког поступка у реалном времену процеса, и растерећење управљачког система тј. локализација управљања. Мулти-агенска архитектура, предложеног модела управљања дидактичке флексибилне ћелије способна је да за дато конструктивно решење обезбеди интероперабилност RFID технологије јер омогућава дистрибутиван систем управљања и надзора за DFMC. 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 DFMC.

Reference:

- Chan, F. T. S., Bhagwat, R., & Wadhwa, S. (2006). Increase in flexibility: productive or counterproductive? A study on the physical and operating characteristics of a flexible manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 44(7), 1431-1445. doi: 10.1080/00207540500398959
- Contador, J. C., Satyro, W. C., Contador, J. L., & Spinola, M. D. M. (2020). Flexibility in the Brazilian industry 4.0: challenges and opportunities. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 21, 15-31.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.08.019
- Dornelles, J. A., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2021). Smart Working in Industry 4.0: how digital technologies enhance manufacturing workers' activities. *Computers and Industrial Engineering*, 107804. doi: 10.1016/j.cie.2021.107804
- Eyers, D. R., Potter, A. T., Gosling, J., & Naim, M. M. (2018). The flexibility of industrial additive manufacturing systems. *International Journal of Operations and Production Management*, 38(12), 2313-2343. doi: 10.1108/IJOPM-04-2016-0200
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004
- Gligorije, M. (2021). *The Management Model of Didactic Flexible Cells using Technologies of Radio Frequency Identification* [Doctoral dissertation, Faculty of Engineering University of Kragujevac, University of Kragujevac]. Kragujevac.
- Holm, M. (2018). The future shop-floor operators, demands, requirements and interpretations. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 35-42. doi: 10.1016/j.jmsy.2018.03.004.
- Longo, F., Nicoletti, E., & Padovano, A. (2017). Smart operators in Industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144-215. doi: 10.1016/j.cie.2017.09.016.
- Marcon, E., Soliman, M., Gerstlberger, W., & Frank, A. G. (2022). Sociotechnical factors and Industry 4.0: An integrative perspective for the adoption of smart manufacturing technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(2), 259-286. doi: 10.1108/JMTM-01-2021-0017.
- Milošević, M., Lukić, D., Đurđev, M., & Vukman, J. (2019). Digital transformation of manufacturing towards Industry 4.0 concept. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 749(1).

-
- Morgan, J., Halton, M., Qiao, Y., & Breslin, J. G. (2021). Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 481-506. doi: 10.1016/j.jmsy.2021.03.001.
- Ortt, R., Stolwijk, C., & Punter, M. (2020). Implementing Industry 4.0: assessing the current state. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 825-836. doi: 10.1108/JMTM-07-2020-0284.
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of industry 4.0 technologies on lean Principles. *International Journal of Production Research*, 58, 1644-1661.

**Миладин
Стефановић**
University of Kragujevac,
Faculty of Engineering,
Kragujevac
Serbia
miladin@kg.ac.rs

Глигорије Мирков
Belgrade,
Republic of Serbia
gmirkov@sbb.rs

Милица Герасимовић
Institute for Improvement of
Education,
Advisor - Coordinator
Belgrade
Republic of Serbia
milica.gerasimovic@zuov.gov.rs

Appendix:

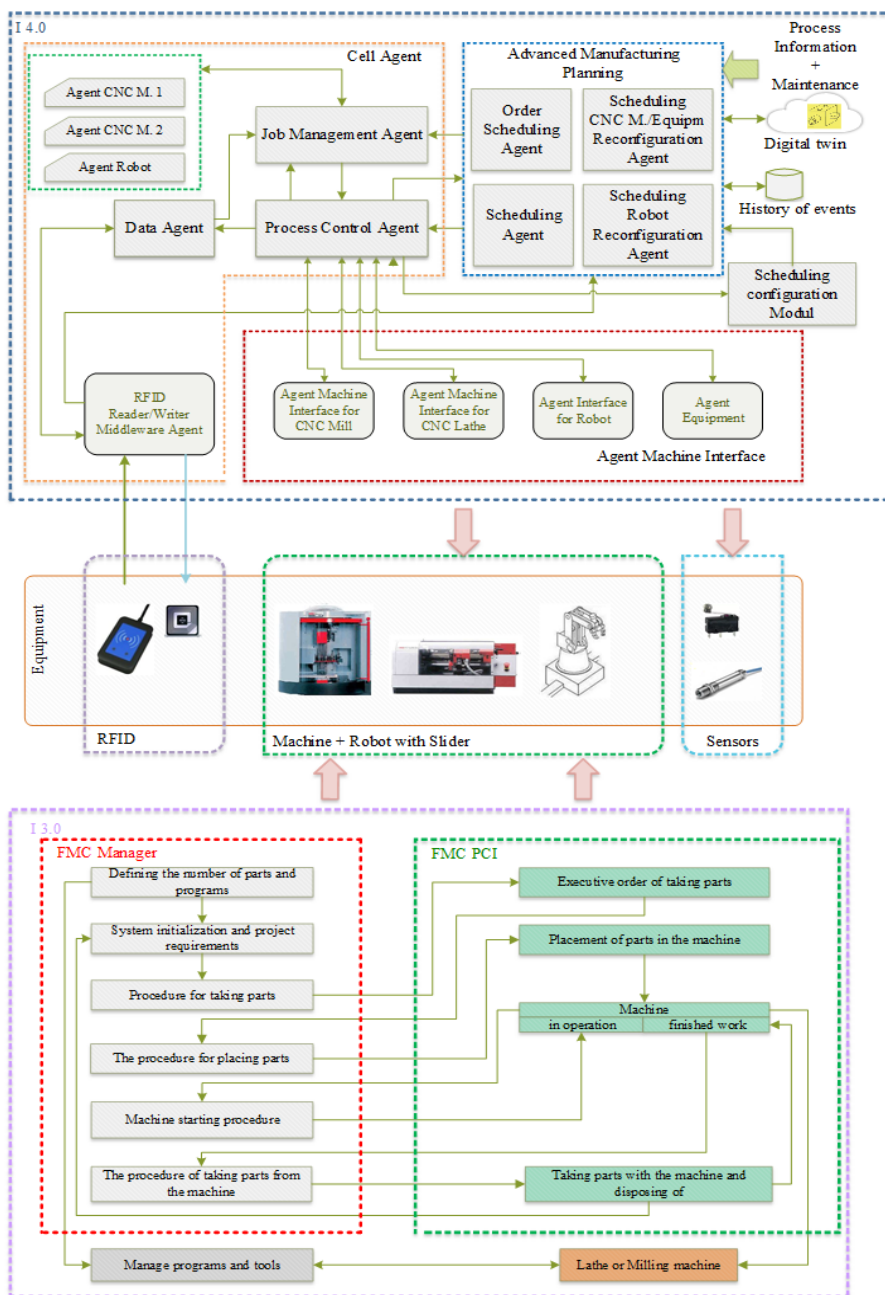


Figure 1. Блок шема управљања DFMC