

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Magyar Tudományos Akadémia

Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet

Mérnöki és Üzleti Intelligencia Kutatólaboratórium

L15 laborgyakorlat útmutató



SmartFactory

kiber-fizikai minta-gyártórendszer

Laborfelelős oktató: Dr. Erdős Gábor Ferenc

Útmutatót összeállította: Beregi Richárd

Labor helyszíne: MTA SZTAKI EMI-SF

H-1111 Kende u. 13-17. K508

Változat: v2.3

Kiadva: 2019.02.08.

Érvényes: 2020.01.31.



Tartalom

1. A laborgyakorlat célja	2
2. Bevezetés	2
3. Alapfogalmak	2
3.1. Negyedik ipari forradalom – Industry 4.0 (I4.0).....	2
3.2. Kiber-fizikai rendszerek – Cyber-physical System (CPS)	3
3.3. Minta-gyártórendszerek – Learning Factory (LF).....	3
4. SmartFactory.....	4
4.1. Elemkészlet	5
4.2. Multimédiás eszközök.....	10
4.3. Hálózati rendszer	11
5. Digitalizáció – Virtualizáció	12
5.1. Gyártásirányítás	13
5.2. Virtuális reprezentációk.....	13
5.3. Adatreprezentáció	14
5.4. Gantt-diagram.....	14
5.5. Precedencia gráf	15
5.6. Munkadarab azonosítás.....	16
5.7. WEB.....	16
6. Kiegészítő táblázatok	17
6.1. Alapvető SQL lekérdezés.....	17
6.2. SmartFactory Statuslog táblájának minta SQL lekérdezése.....	17
6.3. Log paraméterek.....	17
6.4. Moduláris vezérlő parancsok (idCommand)	18
7. A gyakorlat menete, végrehajtandó feladatok	19
8. Felkészülést segítő kérdések.....	20
9. Forrás jegyzék	20
10. Mellékletek jegyzéke	20

1. A laborgyakorlat célja

A gyakorlat során a hallgatók megismerkedhetnek a kiber-fizikai rendszerek koncepciójával egy kiber-fizikai minta-gyártórendszeren keresztül. Ezen mechatronikai rendszeren bemutatásra kerülnek rendszerintegrálási megvalósítások, bevált és kísérleti folyamatvezérlési módszerek, valamint a hallgatók megismerkednek a folyamat ütemezés alapjaival.

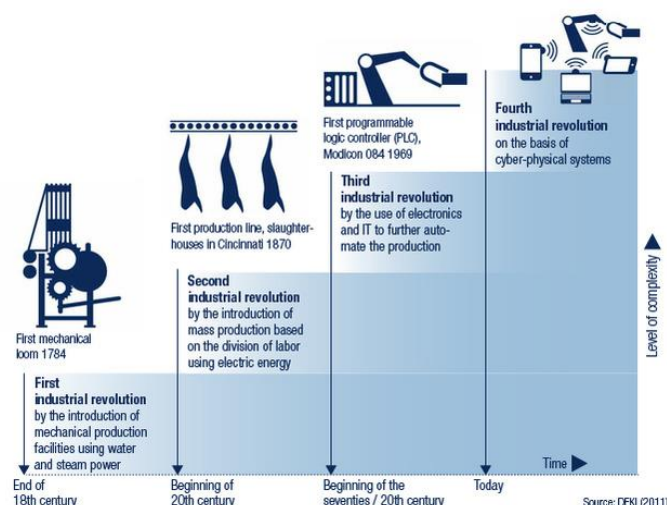
2. Bevezetés

Az MTA-SZTAKI Üzleti és Mérnöki Intelligencia Kutatólaboratóriuma (Engineering & Management Intelligence – EMI) felismerte a szükségességét egy a mérnöki oktatásban is használható, bemutatórendszer létrehozásának. Ezen elgondolás eredménye a SmartFactory kiber-fizikai minta-gyártórendszer. A rendszer célszerűen, mint fizikai modell, többfajta kísérletre használható: bemutathatóak rajta tipikus ipari folyamatok (mind gyártási, mind logisztikai) átlátható méretben, számítógépes reprezentációval összekötött vagy kiegészített szimulációk futtatása, valamint komplex ütemezési és logisztikai feladatok megvalósítása.

3. Alapfogalmak

3.1. Negyedik ipari forradalom – Industry 4.0 (I4.0)

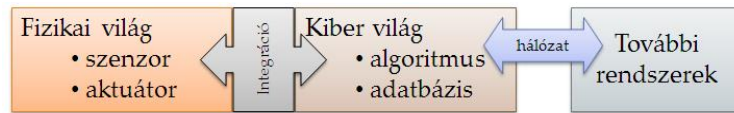
Az első ipari forradalmat a gőzgép feltalálása (1769) jelentette. A második a sori tömeggyártás megjelenésétől számítjuk (többnyire, tévesen, Ford első T-modelljének legördülésétől a gyártósorról). A harmadikat a számítógépek megjelenése és elterjedése hozta el. Napjainkban zajlik az úgynevezett negyedik ipari forradalom, mely alatt az ipar digitalizációját értjük. A hétköznapi életben teret hódító okostelefonok és egyéb okos eszközök megjelenése, a mindenhol elérhető internet és a folyamatos digitális kapcsolat igénye elérte az ipart is. A szektorban dolgozók irányából merült fel, hogy a hétköznapi élet kényelmi és sokszor praktikus, néha pedig költséghatékony elgondolásai, a munkahelyükön is megjelenjenek. Ez a lassan tíz éve indult folyamat mostanra termelte ki első látható, de még nem végleges eredményeit.



1. ábra: Ipari forradalmak [1]

3.2. Kiber-fizikai rendszerek – Cyber-physical System (CPS)

A kiber-fizikai rendszerek koncepciója 2006-ban hangzott el először Helen Gill professzor beszédében a National Science Foundation konferenciáján az USA-ban. A beágyazott rendszerek egy új generációja, ahol a fizikai eszköz (hardver) és annak virtuális reprezentációja (szoftver) elválaszthatatlan módon kapcsolódik össze (integráció) és interakcióba lép más hasonló eszközökkel (hálózat). Ez a négy feltétel definiálja elsődlegesen a kiber-fizikai rendszereket.



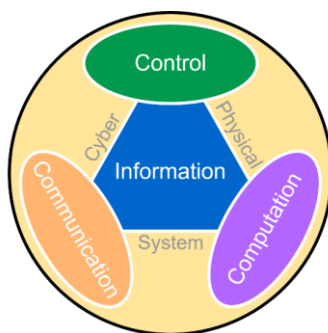
2. ábra: Kiber-fizikai rendszerek

A dinamikus fizikai folyamatok és a számítástechnika olyan integrációjáról van szó, melyben a fizikai beavatkozó (aktuátor) és érzékelő (szenzor) eszközöket beágyazott processzoron futó programok (algoritmusok és adatok) vezérlik, valamint folyamatosan hálózati kapcsolatban van más eszközökkel.

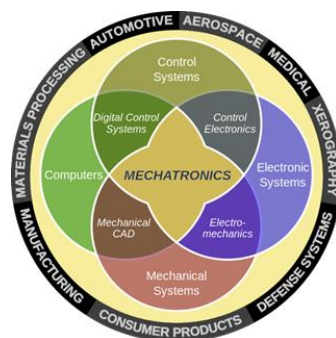
A kiber-fizikai rendszerek olyan valós, fizikai, tervezett rendszerek, melyek működése alapvetően integrált számítástechnikai és kommunikációs eszközökkel felügyelt, összehangolt és szabályozott. [3]

Kiber-fizikai rendszerek definíciója

A mechatronikai mérnökökkel szemben támasztott elvárások nem meglepően teljes átfedést mutatnak a kiber-fizikai rendszerekhez szükséges tudományos ismeretekkel. Tudományterületek egymást erősítő integrációjáról beszélhetünk mindkettő esetében: a mechatronika az intelligens rendszerek tudománya.



a. Kiber-fizikai rendszer funkcionális komponensei [3]



b. Mechatronikába integrált tudományterületek [4]

3. ábra: Kapcsolat a mechatronikai tudománnyal

3.3. Minta-gyártórendszerek – Learning Factory (LF)

Az új mérnök generációk oktatásának új eszközei az oktató gyárak, melyek valós ipari eszközökkel, kifejezetten oktatásra kialakított folyamatokon keresztül mutatják be, hogy mire számíthatnak a hallgatók az egyetemi laboratóriumokon kívül. A koncepció alapötlete természetesen a túlsúlyosan elméleti képzés színesebbé és életszagúbbá tétele. A minta-gyártórendszerekkel szemben a legfontosabb elvárás, hogy valós iparban használt megoldásokat mutassanak be a mögöttes elméleti tudással párhuzamosan.

4. SmartFactory

A SmartFactory egy kompakt kutatási és demonstrációs környezet, amely egy teljes termelési környezetet tömörít egy szobába elférő méretbe, hogy kézzelfogható és felderíthető módon bemutathatóvá tegye az ipari termelés minden fontosabb fizikai és virtuális folyamatát.



4. ábra: SmartFactory [2]

A SmartFactory célja:

- ⇒ egy projekt független demonstrációs platform elsősorban az EMI által fejlesztett innovatív informatikai megoldások bemutatására az ipar érdekelt képviselői számára,
- ⇒ egy kísérleti platform, ahol Industry 4.0 kapcsolatos koncepciókat lehet tesztelni egy kicsinyített, biztonságos és zárt környezetben, amely továbbá lehetővé teszi a valós korlátok és zavarok szabályozott bevezetését,
- ⇒ a nagy nyilvánosság számára kialakított eszköz, melyen magyarázhatóak a CPS és az Industry 4.0 fogalmak,
- ⇒ a létesítmény ezeken felül támogatja a műszaki felsőoktatásban tanuló hallgatókat gyakorlati tapasztalatok megszerzésében és környezetet biztosít önálló tervezési és fejlesztési projektek véghezviteléhez, melyek beépítésre kerülnek a rendszerbe.

A SmartFactory fizikai folyamatai egyszerűsített gyártási forgatókönyveket mutatnak be, ahol az azonos geometriájú, de egyedileg azonosított munkadarabokon szimbolikus megmunkálási műveleteket végezhetünk. A termék paletta sokszínűségét a munkadarabokba telepített RFID azonosítókön tárolásra kerülő, szabadon testreszabható adatokkal valósíthatjuk meg. A rendszert elláthatjuk munkadarabokkal a magasraktárból vagy külső forrásból, a szállítást megvalósíthatjuk a szállítószalaggal vagy a szállító robotokkal, a megmunkálási lépések végbemehetnek a négy identikus munkaállomásokon vagy a humanoid robotkarokon.

Miután teljesen működőképes lesz, a “fogyasztóknak” lehetősége lesz megrendelést feladni a rendszer számára, mely teljesítését nyomon követhetik valós időben és kiértékelhetik a végrehajtás után. A rendszer különböző irányítási szintjeire adott felhasználói szerepköröknek megfelelő betekintési felületen lesz lehetőség beavatkozni, zavarokat és erőforrás-hiányos állapotok előidézni, hogy a teljes termelési rendszer megbízhatóságát és robusztusságát tesztelni lehessen. Valamint a rendszer virtuális kiterjesztése is a fejlesztési tervek között van.

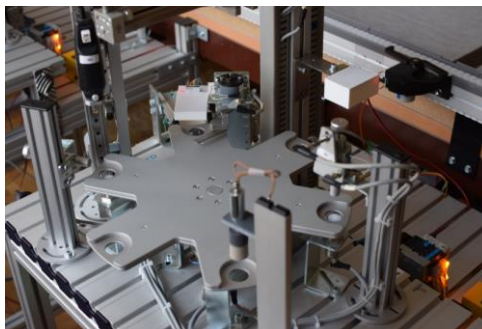
4.1. Elemkészlet

4.1.1. Megmunkáló állomás – Workstation (WS)



5. ábra: Megmunkálóállomás

A Festo Modular Production System (MPS) elemből négy teljesen identikus található a gyártócellában. Mindegyiküknek egy léptető motorral hajtott, hat pozíciós forgóasztal a központi mozgató egysége. A dedikált pozíciók első fészke a manipulátoros be- és kitáplálásra szolgál. A második pozíciónál egy pneumatikus furatellenőrző van, mely azt hivatott ellenőrizni, hogy a munkadarabban található-e előfurat. A tesztelő pozíció után következik egy újonnan kialakított szerszám, mely az aktuálisan felrögzített fejnek megfelelő mintát pecsétel a munkadarabba az erre a célra kialakított felületen. A negyedik pozíció, mely a legkönnyebben megközelíthető személyek számára, egyfajta kézi megmunkálási feladat lehetőségét hagyja szabadon, célszerűen egy nyomógommbal ellátva, hogy megnyomásával jelezze az operátor, ha a feladata végrehajtásra került. Ezt követi egy fúrési művelet, mely a fúró beindulásából és a munkadarab furatába való lesüllyedéséből áll, fúrési ideje állítható. Itt a pecsételéshez kialakított felületen végzünk anyagleválasztó megmunkálást. Ezen felület hiányában a munkadarabon előre kialakított előfuratba süllyed a fúrófej. A hatodik és egyben utolsó fészekhez egy ledobó mechanizmus tartozik, amely a hibás darabokat egy csúszdába tereli.



a. Körasztal



b. Tesztelő



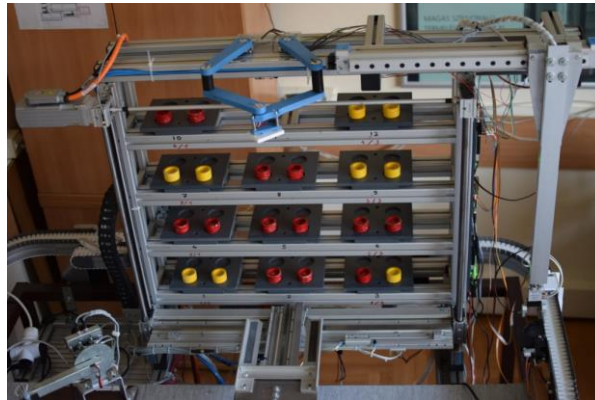
c. Pecsételő



d. Fúró

6. ábra: Műveleti egységek

4.1.2. Magasraktár – Warehouse (WH)



7. ábra: Magasraktár

A Festo Didactic cég egyedi gyártott magasraktára egy tizenkét paletta hellyel rendelkező négy szintes egysége a rendszernek. Ebből tizenegy paletta egyenként négy munkadarab raktározására alkalmas. A fennmaradó egy szabad hely a paletták helyeinek cserélésére szolgál. Egy villás palettaemelő tudja mozgatni az egyes palettákat. Ezt függőleges irányba NC (Numerical Control) vezérléssel ellátott szervomotor hajtotta fogasszíj mozgatja, míg vízszintesen pneumatikus sínen mozog. Pneumatikus ütközők állítják meg a villát, hogy a megfelelő palettahelynél legyen. A rendszer a vízszintes és a függőleges pozicionálást párhuzamosan valósítja meg.

4.1.3. Szállítószalag - Conveyor System (CS)



Szállítószalag szakaszok kapcsolódása



Stopper egység

8. ábra: Szállítószalag

A FlexLink cég legkisebb, Magyarországon elsőként felállított X45 típusú szállítószalagja került telepítésre a SmartFactory rendszerben. A pálya hossza és a kanyarok száma miatt négy különálló szakaszból áll, melyeket egyenként egy-egy motor hajt meg. Az X45 elnevezés a 45 mm széles pályára utal. A különálló szalag részeket egy egyszerű terelő kar pár teszi egységessé.

A FlexLink moduláris egységei közül, melyeket a szállítószalaghoz ajánl, a SmartFactory egy stopper egységgel rendelkezik. Ez egy dupla optokapuból és egy motorral hajtott megállító tárcsából álló egység. Két funkcióval rendelkezik: az anyagáram megállítása illetve az anyagáram megszakgatása, a feltorlódott munkadarabok elválasztása.

4.1.4. Transzport robot – Mobile Robot (MR)



9. ábra: Szállító robot

A Festo Robotino egy omni-kerekekkel ellátott robot. A robot az asztalon elfoglalt pozícióját a léptetőmotorok enkóderével és giroszkópjával határozza meg. Ezen túl fel van szerelve egy induktív és egy optikai szenzorral, melyekkel a robot szenzorfüzión valószínűsíti meg a pontosabb pozicionálás érdekében az egyes buffereknél. Külön megfogóval rendelkezik, mellyel a munkadarabokat képes szállítani.

4.1.5. Humanoid robotkar – Articulated Robot (AR)



10. ábra: Humanoid robotkar

A dán Universal Robots UR5 típusú hat csuklós humanoid robotkarjaiból kettő került telepítésre a rendszerben, mindkettő felszerelve a kanadai RobotIQ cég hat tengelyes erőmérő szenzorával és egy kétujjas megfogó egységgel.

A megfogó egység érdekessége, hogy mind párhuzamos pofás megfogóként, mind pedig markoló megfogó egységként képes működni, köszönhetően egy két szabadságfokú mechanizmusnak. Az erőmérő szenzor a Descartes-koordináta rendszer három tengelye mentén, mind pozitív, mind negatív irányba képes mérni.

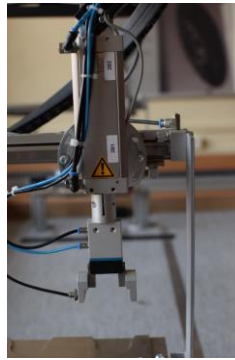
4.1.6. Manipulátorok – Grippers (G)



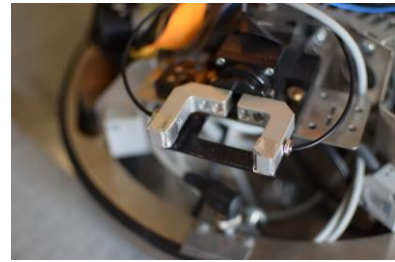
a. Humanoid robot
megfogója



b. Átemelő egység
megfogója



c. Megmunkálóállomás
megfogója



d. Szállító robot
megfogója

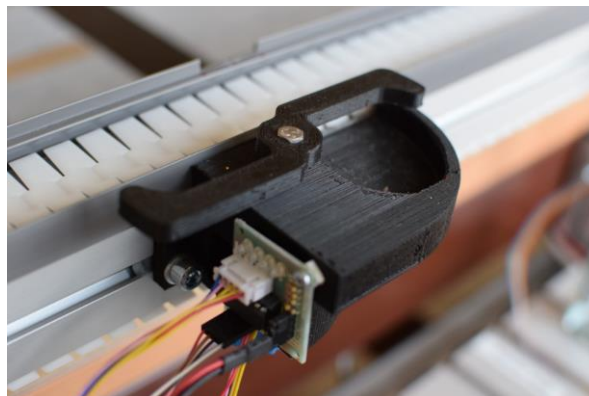
11. ábra: Manipulátorok

Az asztalon mozgó robotok, a szállítószalag és az asztal mellett elhelyezett eszközök között manipulátorok mozgatják a munkadarabokat. A magasraktár és a hozzá tartozó mellékutas átadóhely között egy mechatronikai projekt keretében épített felsőszáns pneumatikus átemelő szerkezet biztosítja az átjárást. A rendszer továbbá rendelkezik egy BSc szakdolgozat keretében fejlesztett átemelő manipulátorral, mely a magasraktár és egy buffer egység között biztosítja az átjárást, hogy a transzport robotokkal is közvetlen anyagáramfolyam legyen kialakítható.

A megmunkáló állomásokhoz pneumatikus portális megfogó viszi be és távolítja el onnan az egyes munkadarabokat. Jelenlegi kiépítésében két buffer pozícióból, az adott állomáshoz rendelt átadóhelyről és a forgóasztal dedikált pozíciójából tud elemelni munkadarabot.

A transzport robotok is rendelkeznek egy párhuzamos pofás megfogó egységgel a munkadarabok rögzítéséhez a szállítása során.

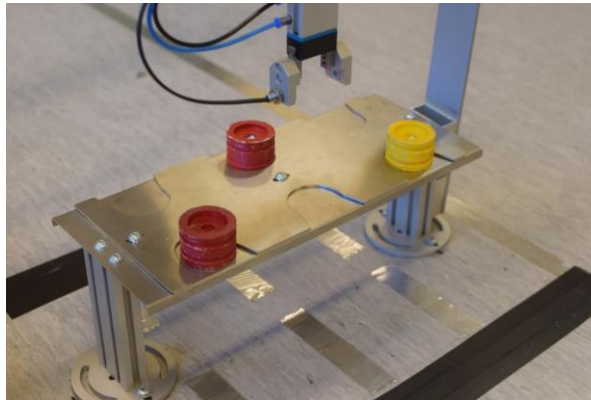
4.1.7. Mellékutas átadóhely – Bypass Unit (BP)



12. ábra: Mellékutas átadóhely

A futószalagon szállított munkadarabokat egy 3D nyomtatott, saját tervezésű mechanizmus mozgatja a szállítószalag mentén kialakított fészkekbe. Így a szalagról történő kitétel illetve bevétel nem torlasztja fel a anyagáramot.

4.1.8. Átadóhely – Buffer Station (BS)



13. ábra: Átadóhely

Átadóhelyből összesen hat darab található az asztalon. Két megmunkáló állomáshoz és a humanoid robotokhoz is tartozik egy-egy identikus, hat tárolóhellyel rendelkező buffer. A fennmaradó két megmunkáló állomáshoz egy-egy három fészkes lett kialakítva a transzport robot helyigénye miatt. A magasraktár esetében egy egyedi egy fészkes buffer lett kialakítva. Az rendszer jelenlegi elemkészlete miatt csak két pozíciót hasznosítunk a hatból, ugyanis az állomásokhoz tartozó manipulátor csak ezt a két helyzetet éri el. Alapvetően egy közbenső tároló szerepét tölti be, hogy amíg az adott munkadarab a szállító robotra vár, addig is tudjon dolgozni az adott megmunkáló állomás. A Festo cég eredetileg kistraktárként definiálta, de a buffer megnevezés jobban tükrözi a funkcióját.

4.1.9. Munkadarabok – Workpieces (WP)



14. ábra: Munkadarab

A munkadarabok a labor saját tervezésű elmei a rendszernek, melyek polimer anyagból lettek kiöntve. Hengeres elemek, melyek közepében NFC RFID (Near Field Communication Radio Frequency Identification) tag vannak beágyazva, mely lehetővé teszi az egyedi azonosítást. Érdekessége, hogy a pecsételéshöz szükséges extra felületet és az előfuratot a henger mindkét végén kialakítottuk, így kézi vagy robotos forgatással két művelet elvégzésére is alkalmas egy szerelés után.

4.2. Multimédiás eszközök

4.2.1. Plafon kamera és projektor



a. Plafon kamera



b. Plafon projektor

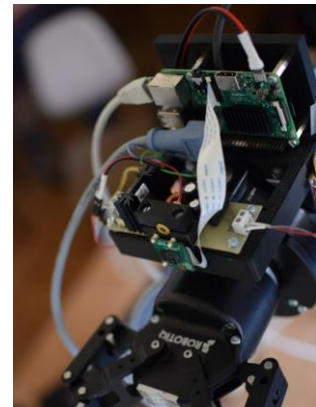
15. ábra: Multimédiás eszközök

A transzport robot bizonytalansága és a ipari gyakorlatban egyre többet alkalmazott képfeldolgozási megoldások arra ösztönözték a labort, hogy ilyen irányú ismeretekre is szükség van. Emiatt beszerzésre került egy nagylátószögű, plafonra szerelhető kamera, mely elhelyezéséből adódóan belátja a transzport robotok teljes műveleti területét. A robotokon elhelyezett LED-ek segítségével és a későbbiekben elkészítendő képfeldolgozási eljárásokkal így meghatározható a robotok pozíciója és az esetleges hibák korrigálhatóak.

A plafonra szerelt projektor az UR robotok munkaterére tud vetíteni. Így egy vizuális kommunikációs csatornát lehet nyitni a robot vezérlője és a robottal együtt működő ember között.

4.2.2. Megfogó kamera

Az UR robot megfogója köré kialakított 3D nyomtatott platformra telepítésre került egy nagyfelbontású kamera, valamint egy távolságmérő szenzor. Ezek az eszközök az adaptív munkaterület azonosítást szolgálják. Lehetőséget nyújtanak az emberrel kollaboratívan együtt működő robot számára, hogy megtalálja a közös használt eszközöket és munkadarabokat.



16. ábra: Robot kamera

4.2.3. Kinect

A humanoid robotkarokkal történő emberi interakció megkönnyítése céljából telepítésre került egy Microsoft fejlesztésű Kinect 2.0. Az az elképzelés vezérelte ezt a fejlesztést, hogy ne csak hanggal, hanem kézmozdulatokkal, gesztusokkal és egyéb proxemikákkal kommunikáljunk a robotokkal. A szenzor 2 mm pontossággal dolgozik, ami által akár a kooperáció biztonságaért is felelős alrendszeré is válhat.



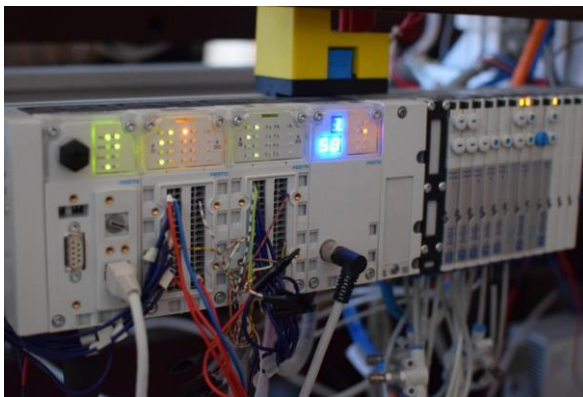
17. ábra: Kinect kamera

4.3. Hálózati rendszer

A rendszer heterogenitása miatt szükség volt több különböző kommunikációs hálózat kialakítására. Ez egyszerre kihívást és lehetőséget is jelent, abból a szempontból, hogy lehet összehangolni ezeket a technológiákat és az így szerzett tapasztalatok alapján, hogy lehet őket alkalmazni ipari területen.

A kialakított hálózatokon HTTP, TCP-IP, UDP és CANOPEN protokollt használunk, melyek mindegyiket megtalálható az ipari hálózatok megfelelő szintjein.

4.3.1. Local Area Network (LAN)



a. Programozható logikai vezérlő



b. Hálózati switch

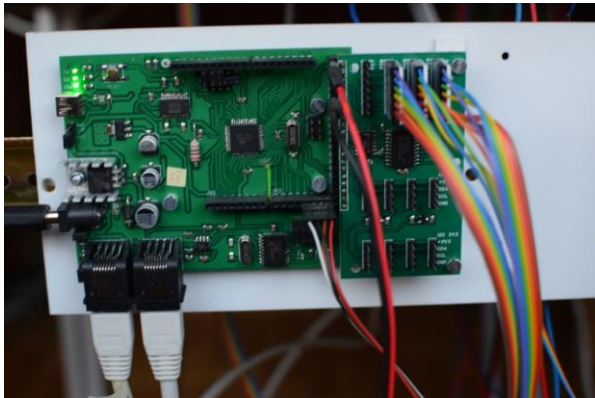
18. ábra: LAN hálózat

A SmartFactory egy lokális hálózattal rendelkezik, mely fastruktúrában kapcsolja össze switcheken át a négy megmunkálóállomás és a magasraktár PLC-jeit, a humanoid robotok vezérlőit, valamint több vezérlő számítógépet.

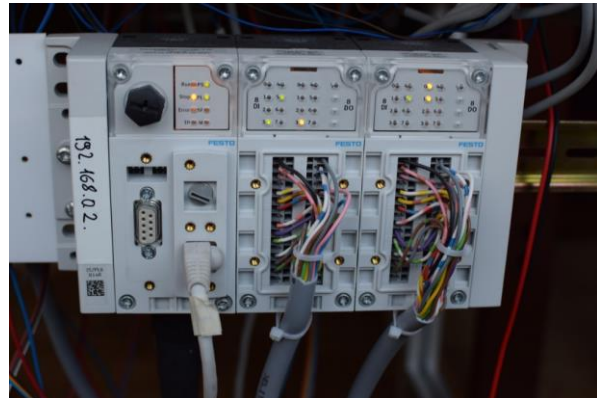
4.3.2. Wireless Local Area Network (WLAN)

A transzport robotokkal a rendszer egy wlan routeren keresztül tartja fenn a vezeték nélküli hálózati kapcsolatot. Ez a router szolgálja ki a LAN hálózatot is.

4.3.3. Controller Area Network (CAN bus)



a. Mikrokontroller



b. Programozható logikai vezérlő

19. ábra: CAN hálózat

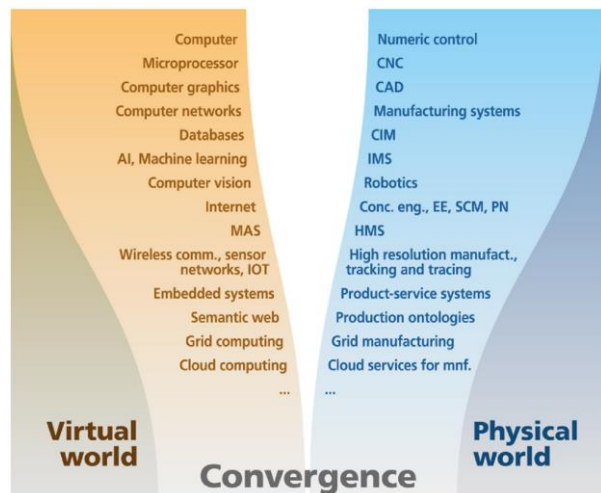
A CAN egy járművekben alkalmazott BUS, mely arra lett tervezve, hogy mikrokontrollerek és eszközök között valósítson meg soros, üzenet alapú kommunikációt server nélkül. A SmartFactoryban két egymástól független CAN hálózat került kialakításra. A függetlenítés okai között szerepel a funkcionális különbség és csatlakozók típusa közötti eltérés. Az első és egyben legegyszerűbb a magasraktár PLC-je és a magasraktárhoz tartozó NC szán motorvezérlője közötti CAN BUS, mely CANOpen protokollt használ.

A második a mikrovezérlők között kialakított, szintén CANOpen protokoll-lal működő, soros lánc, melynek egyik végén termináló ellenállás, a másik végén a rendszer szervere van, hogy elérhető legyenek a lokális hálózaton a RFID olvasók és a mellékutas átadóhelyek.

5. Digitalizáció – Virtualizáció

Ma általános tendencia a gyártás teljes világának digitalizálása, amely a műszaki és gazdasági folyamatok lehető legteljesebb leképezését jelenti a termékfejlesztéstől a gyártás globális folyamatainak modellezéséig. A digitalizálás megteremti az előfeltételeit és kereteit annak, hogy a gyártás mai kihívásaira válaszokat tudjunk adni a mesterséges intelligencia, operációkutatás, rendszer- és irányítástechnika, gyártástechnológia és más tudományágak eredményeinek együttes felhasználásával. Az intelligens gyártás azonban csak akkor valósítható meg, ha mégoly kifinomult modelljei és irányítási algoritmusai érzékelő és beavatkozó szervek (szenzorok & aktuátorok) révén állandó kapcsolatban állnak a világ valódi állapotával; ha a gyártás világáról alkotott modellek és a tényleges gyártási környezet időről-időre megfeleltethetők egymásnak.

Ez a felismerés motiválta az Intézet EMI laborját a SmartFactory minta-gyártórendszer létrehozására. A telepített rendszer lehetővé teszi tipikus gyártórendszer struktúrák kialakítását, ütemezési és optimalizálási algoritmusok tesztelését, raktár-gazdálkodási, kiszolgálási és logisztikai szituációk megteremtését és vizsgálatát.



20. ábra: Konvergencia [7]

5.1. Gyártásirányítás

A tradicionális gyártásirányítás hierarchikus elrendezésű, melynek csúcsán a vállalati, főként stratégiai szintű, döntések helyezkednek el. Lefelé haladva közeledünk a valós technológiai folyamatokhoz, melyeket operatív szintű döntésekkel jellemeznek. Ezen relatíve széleskörű és változatos környezetet, az egyes szintek eltéréseit áthidalni képes virtualizáció napjainkban is jelentős kihívást jelent mind a kutatási, mind az ipari szektor számára. Az a megközelítés terjedt el, hogy az eltérő szinteken eltérő funkcionalitással és részletességgel modellezik a környezetet és erre eltérő eszközkészletet használnak a szakemberek. A SmartFactory rendszerben emiatt a lehető legtöbb szinten bevett reprezentáció implementálása megtörtént.



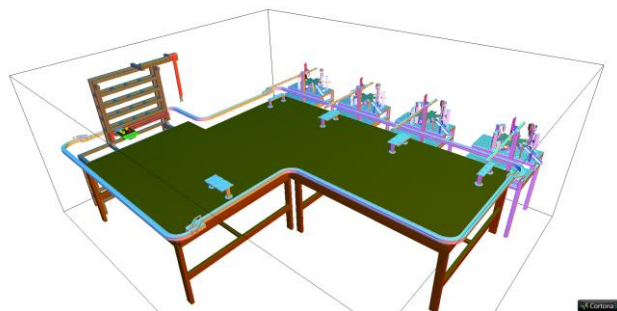
21. ábra: Gyártásirányítási piramis [???

5.2. Virtuális reprezentációk

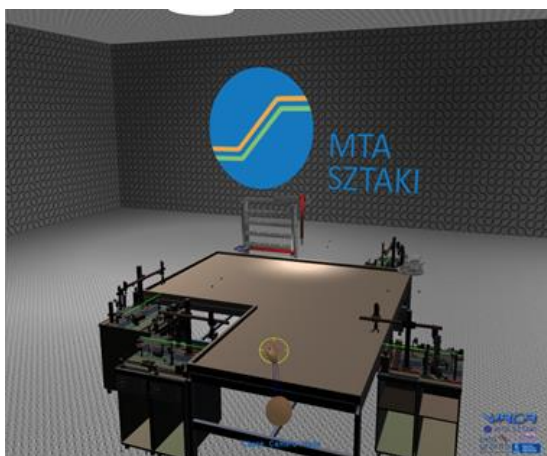
A SmartFactory rendszernek több mint ötféle virtuális reprezentációja készült el. Ezek egy része a folyamatok modellezésére irányult (RobotExpert, PlantSimulation, AnyLogic modellek), másik csoportja a rendszer háromdimenziós vizualizációját valósították meg (ApertusVR, 3dX, WRL modellek), míg a CAD modellek a rendszer műszaki bővítéséhez szükséges geometriai információkat tárolják (SolidWorks modell). A Mathematica szoftvercsomag LinageDesigner mechanizmus modellező elemkészletével készült el a rendszer kinematikai modellje, mely alkalmas a valós rendszerrel párhuzamosan futtatható működéshelyes szimulációra.



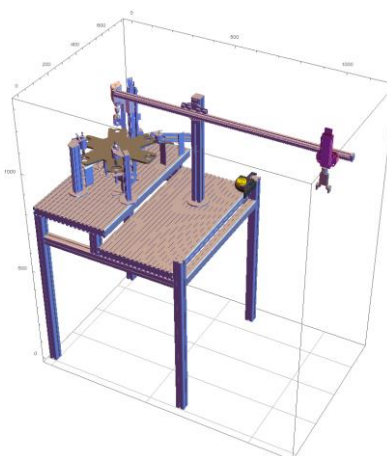
a. SolidWorks modell



b. WRL modell



c. ApertusVR



d. LinkageDesigner modell

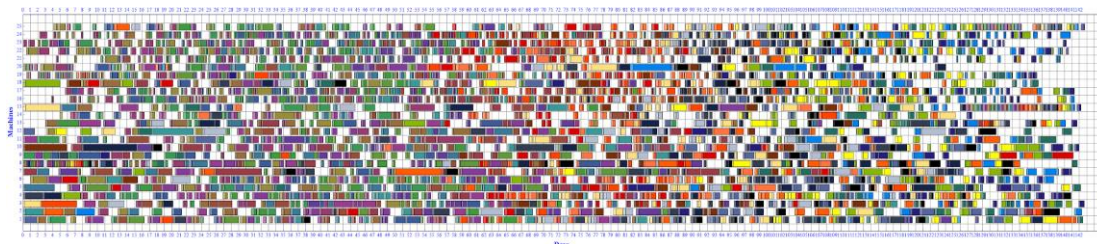
22. ábra: Grafikus virtuális reprezentációk

5.3. Adatreprezentáció

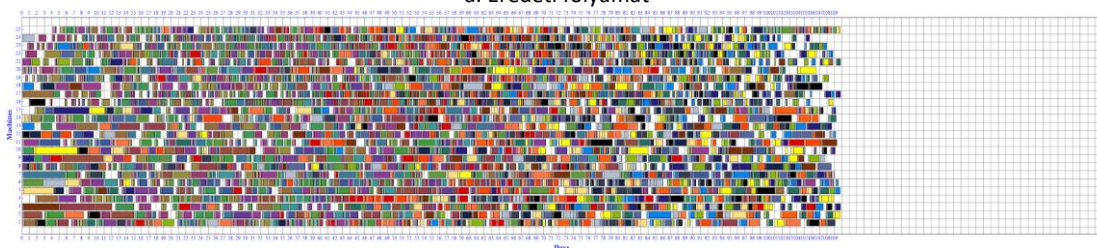
A rendszer belső logikájának, fizikai kialakításának és működtetéséhez szükséges információknak a reprezentálására egy SQL adatbázis szolgál. Az adatbázis leírja az egyes fizikai eszközök vezérléséhez szükséges kommunikációs információkat, az adott vezérlővel megvalósítható funkciókat végrehajtó utasításokat, az egyes munkadarab egyedi azonosítóit, a termékek és operációk családfáját. Az adatbázis továbbá tárolja a folyamatok historikus adatait (továbbiakban logok).

5.4. Gantt-diagram

A Gantt-diagram egy olyan vízszintes oszlop diagram, mely nevét Henry L. Ganttról kapta, aki az 1910.-1915. között fejlesztette ki és alkalmazta ipari termelésprogramozási feladatok megoldására. Azóta a folyamatütemezés egyik legbeváltabb vizuális reprezentációja lett. A függőleges tengelyen erőforrások (eszközök, emberek, feladatok) jelennek meg, míg a vízszintes tengely az időt mutatja. Az egyes erőforrások sorához bizonyos időegységeket igénybevevő folyamatok vannak rendelve, melyek kezdeti és befejezési időpontja egy téglalapot határoz meg. Az eltérő szín eltérő típusú folyamatot jelent. Az egyes folyamatok között precedencia összefüggések is, melyek az általában az azonos szín határoz meg.



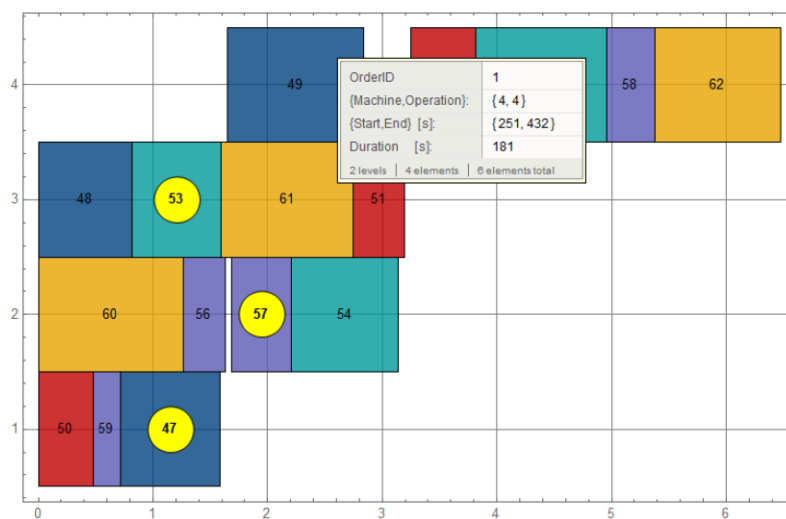
a. Eredeti folyamat



b. Újraütemezett folyamat

23. ábra: Optimalizálással csökkenthető a termelési összidő

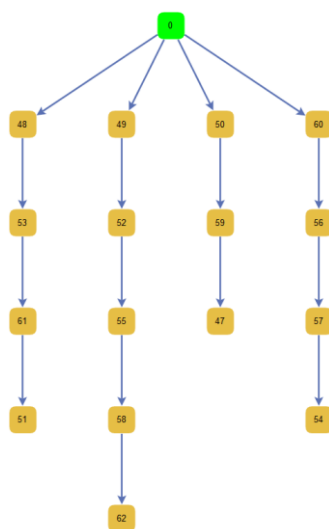
Az alábbi ábrán megtekinthető a négy megmunkáló állomáson (vízszintes tengely) ütemezett feladatok időrendiség egy egyszerű Gantt-diagramon, melyen a különböző színek a különböző termékek, megrendelések életútját szemléltetik.



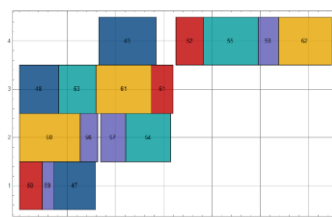
24. ábra: Mintafolyamat

5.5. Precedencia gráf

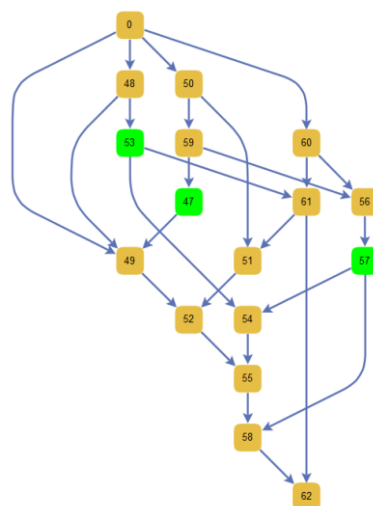
A precedencia gráf egy olyan irányított gráf, melyben a nyilak a csomópontokkal reprezentált folyamatok sorrendiségét írja elő. Ily módon a párhuzamosan futható folyamatok leírása egyszerű. A bal oldali ábrán látható az előbbi mintafolyamat megmunkálóállomásokra vetített precedencia gráfja, melyben az adott eszközön az egymást követő feladatok látszanak. Ez a gépkezelők és operátorok szintje. Ugyanez a folyamat a termékek és megrendelések szintjén a jobb oldali ábrán tekinthető meg. Ez a komplexitás ugrás azt kívánja bemutatni, hogy egy relatíve egyszerűnek kinéző feladat is kellően átláthatatlanná válik a megfelelő reprezentációs eszközök nélkül.



a. Gyártósor színű folyamatgráf



b. Folyamat Gantt-diagramja

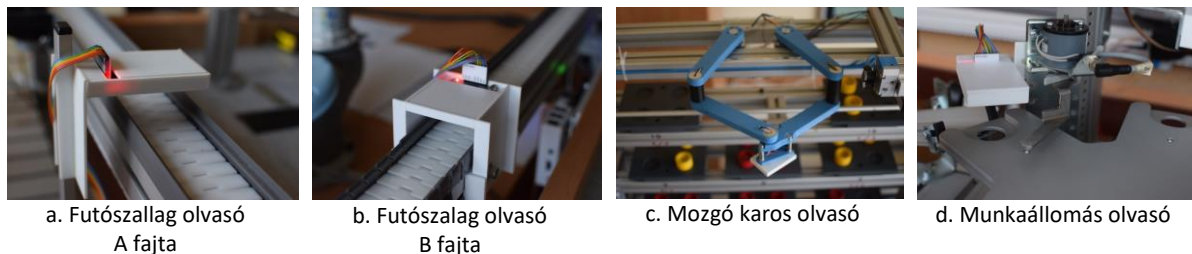


c. Termelésstervezés szintű folyamatgráf

25. ábra: Mintafolyamat

Ugyan annak a folyamatnak a precedencia gráf egy időfüggetlen, esemény alapú leírása, míg a Gantt-diagram az ütemező által az egyes folyamatokhoz rendelt kezdési időpillanatokkal és időtartamokkal jön létre.

5.6. Munkadarab azonosítás



26. ábra: RFID olvasó egységek

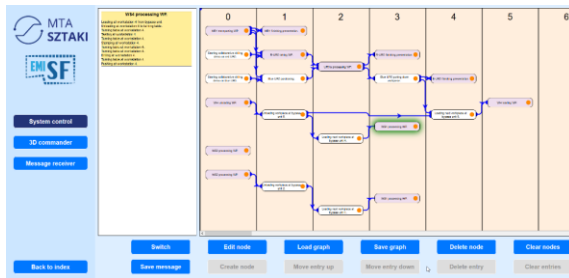
A rendszerben mozgó munkadarabok mindegyike el van látva NFC RFID taggal. Ezek érzékelésére és munkadarabok azonosítására a rendszer számos pontján RFID olvasó és író kártyák kerültek telepítésre: a szállítószallag minden eszközt megelőző szakaszán, az eszközök bevételi és kitételi pontjainál, valamint a magasraktár esetébe egy szkennelési funkcióra kialakított zárt kinematikai láncú karos mechanizmus végén is lett telepítve egy. Így lefedésre került a teljes rendszer és minden a várttól való eltérés azonosíthatóan érzékelhető a rendszerben.

5.7. WEB

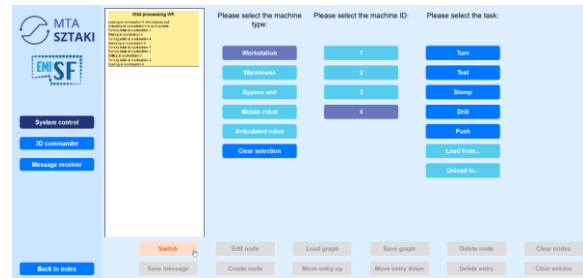


27. ábra: Weblap köszöntő felülete

A kiber-fizikai gyártórendszerek (Cyber-Physical Production System - CPPS) és a dolgok és szolgáltatások internete (Internet of Things and Services - IoTS) koncepció implementálása miatt szükséges, hogy a rendszer és a rendszer minden eleme elérhető legyen, meghatározott korlátozásokkal és biztonsági protokoll-lal, a külvilág számára is interneten keresztül. A labor során bemutatásra kerülő online felület egy prototípus rendszer, mely a SmartFactory jelenlegi készültségi szintjén a igényelt és a szükséges funkciókat kielégíti.



a. Precedenciagráf szerkesztő felület



b. Folyamatelem választó felület

28. ábra: Használandó webfelületek

A laborfeladat végrehajtásához szükséges a System Control felület használta. Ezen a webes folyamat szerkesztő felületen lehetőség van kiválasztani a végrehajtandó folyamatelemeket vezérlőegységenként, majd ezekből összeállítani az összefolyamat precedencia gráfját.

6. Kiegészítő táblázatok

6.1. Alapvető SQL lekérdezés

```
SELECT column1, column2, ... (*) esetén minden oszlop
FROM table_name
WHERE condition1 AND condition2 OR condition3
ORDER BY column1, ... ASC|DESC
LIMIT number;
```

6.2. SmartFactory Statuslog táblájának minta SQL lekérdezése

```
SELECT idstatuslog, idTarget, idCommand, idStatus, timeStamp
FROM SmartFactory.statuslog
WHERE ( idTarget = 1 OR idTarget = 5 ) AND idStatus = 2
ORDER BY idstatuslog DESC
LIMIT 200;
```

6.3. Log paraméterek

1. táblázat: Státusz azonosítók

idStatus	Leírás
0	Parancs kiadva
1	Parancs fogadva
2	Parancs végrehajtva
3	Hiba

2. táblázat: Vezérlő azonosítók

idTarget	Leírás
1	Megmunkáló állomás 1
2	Megmunkáló állomás 2
3	Megmunkáló állomás 3
4	Megmunkáló állomás 4
5	Magasraktár
31	Mellékutas átadóhely 1
32	Mellékutas átadóhely 2
33	Mellékutas átadóhely 3
34	Mellékutas átadóhely 4
35	Mellékutas átadóhely 5

6.4. Moduláris vezérlő parancsok (idCommand)

3. táblázat: Megmunkáló állomás parancsok

Parancs	Leírás
P30	Körasztalt forgató program
P31	Furat ellenőrző program
P32	Pecsételő program
P34	Fúró program
P35	Lelőkő program
P10	Felvétel Pozíció 1. (Körasztal)
P11	Felvétel Pozíció 2. (Szállítószalag)
P12	Felvétel Pozíció 3. (Középső buffer)
P13	Felvétel Pozíció 4. (Szélső buffer)
P20	Letétel Pozíció 1. (Körasztal)
P21	Letétel Pozíció 2. (Szállítószalag)
P22	Letétel Pozíció 3. (Középső buffer)
P23	Letétel Pozíció 4. (Szélső buffer)

4. táblázat: Mellékutas átadóhely parancsok

Parancs	Leírás
50	Következő munkadarab bevétele
60	Munkadarab kiadása

5. táblázat: Magasraktár parancsok

Parancs	Leírás
P10 – P21	Kivétel Paletta 1. – 12.
P22	Kivétel Munkadarab Portál 1.
P23	Kivétel Munkadarab Portál 2.
P24	Kivétel Munkadarab Portál 3.
P25	Kivétel Munkadarab Portál 4.
P30 – P41	Betétel Paletta 1. – 12.
P42	Betétel Munkadarab Portál 1.
P43	Betétel Munkadarab Portál 2.
P44	Betétel Munkadarab Portál 3.
P45	Betétel Munkadarab Portál 4.

7. A gyakorlat menete, végrehajtandó feladatok

1. feladat

Figyeljék meg a minta-gyártórendszer automata működését bemutató demó során lezajló folyamatokat. A szimuláció végén a négy identikus megmunkálóállomás mindegyikéhez eljut egy-egy adott munkadarab. A csoportokba osztott hallgatók feladata, hogy készítsenek ütemtervet egy-egy munkadarab adott állomáshoz szállításához, valamint az elvárt megmunkálási és minőségellenőrzési feladatok végrehajtásához. Vegyék figyelembe a folyamatok precedencia kényszerét! Végezetül helyezték át a megadott szállítóeszköz számára elérhető pozícióba az elkészült munkadarabot.

2. feladat

Az 1. feladat során elkészített ütemterv végrehajtása a SmartFactory minta-gyártórendszeren és annak virtuális modelljén szimultán.

3. feladat

A folyamat lefutása után készítsék el az adatbázisban tárolásra került historikus adatok eléréséhez szükséges SQL lekérdezéseket. Majd futtassák le a kialakított felületen.

4. feladat

A lekérdezések eredményeinek kinyomtatott tábláiból szelektálják ki a saját folyamataikra vonatkozó historikus időpontokat és ezek alapján készítsék el a saját folyamatuk ütemidő diagramját (GANTT diagram).

A gyakorlat teljesítésének feltételei:

- Gyakorlaton való személyes részvétel.
- Jegyzőkönyv kitöltése.

8. Felkészülést segítő kérdések

- a. Mi a kiber-fizikai rendszerek definíciója?
- b. Milyen elemekkel rendelkezik a SmartFactory rendszer?
- c. Milyen feladatokat képes a megmunkáló állomás elvégezni?
- d. Alkosson meg egy egyszerű SQL lekérdezést.
- e. Milyen moduláris vezérlő programokkal rendelkezik a megmunkáló állomás?
- f. Milyen funkciókra használhatóak egy rendszer virtuális reprezentációi?

9. Forrás jegyzék

- [1] acatech
Cyber-Physical Systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production.
In acatech Position (2011) DOI=<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29090-9>
- [2] E. A. Lee and S. A. Seshia,
Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach,
LeeSeshia.org, 2011.
- [3] A. Gupta, M. Kumar, S. Hansel, A. K. Saini,
Future of all technologies - The Cloud and Cyber Physical Systems,
International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, Vol. 2 Issue 2, Feb. 2013
ISSN NO: 2319-7463
- [4] Mechatronics
<http://en.wikipedia.org/wiki/Mechatronics>
1014-12-02
- [5] R. Beregi,
Design of a prototype production control system to the SmartFactory, Master's thesis,
Department of Manufacturing Science and Engineering, Budapest University of Technology and Economics
(2015).
- [6] Zs. Kemény, R. Beregi, F. G. Erdős, J. Nacsa,
The MTA SZTAKI Smart Factory: platform for research and project-oriented skill development in higher
education
6th CLF - 6th CIRP Conference on Learning Factories, Procedia CIRP 54 (2016) 53 – 58
- [7] L. Monostori, et al.
Cyber-physical systems in manufacturing.
CIRP Annals 65.2 (2016): 621-641.

10. Mellékletek jegyzéke

1. Jegyzőkönyv

L15 laboratóriumi gyakorlat

– Jegyzőkönyv –

Vezérlő azonosító	Parancs azonosító	Kezdeti időpont	Befejezési időpont	Időtartam

Jegyzőkönyv

Ütemidő diagram (GANTT diagram)

Azonosító	Folyamat
idő (sec)	

Folyamat összideje:

Jelen jegyzőkönyv megőrzendő a tantárgyteljesítés (éremjegyszerzés) szemeszterének végéig. A gyakorlatvezető oktató aláírásával hitelesített jegyzőkönyv egyben a gyakorlat teljesítésének névre szóló igazolása is.

A jegyzőkönyvet készítette:

A gyakorlat teljesítését igazolom:

Név:

Név:

Neptun:

Dátum:

.....

hallgató aláírása

.....

oktató aláírása

A BME Gyártástudomány és -technológia Tanszék főbb szakmai kompetenciái:



További részletek:

