

# Integrált robotikai kiszolgáló alrendszer fejlesztése és megvalósítása

## Development and implementation of an integrated robotic material handling subsystem

ABAI Kristóf, BEREGI Richárd, KESZTHELYI Erzsébet

Termelésinformatikai és Termelésirányítási Kiválósági Központ (EPIC),  
Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (SZTAKI), Eötvös Loránd Kutatási Hálózat (ELKH),  
1111 Budapest, Kende u 13-17, +36 1 279 6000, abai.kristof@sztaki.hu, www.sztaki.hu

### Abstract

*The latest result of the continuous development of the demonstrator system for cyber-physical production located in our research institute is an open-source desktop robot supplemented with a linear slide drive system. The robot has five driven axis and is equipped with a parallel gripper. Additionally, the 3D printed frame elements have been redesigned to meet the specific requirements of the overall system. The article presents the mechanical redesign and integration of the robot.*

### Kivonat

*A kutatóintézetünk kiber-fizikai minta-gyártórendszerén végzett folyamatos fejlesztés legújabb eredménye egy lineáris szánrendszerrel bővített, nyílt forráskódú (open-source) projektből származó asztali robot (desktop robot). Az öttengelyes, párhuzamos megfogójú robot 3D nyomtatott elemekből álló váza a rendszer konkrét igényeinek megfelelően került áttervezésre. A cikk bemutatja a robot tervezésének és integrációjának folyamatát.*

**Kulcsszavak:** 3D nyomtatás, robot, mintarendszer, logisztika, autonóm

## 1. BEVEZETÉS

Az ipari automatizálás következő korszaka, melyet általában negyedik ipari forradalomnak neveznek, lassan tíz éve folyamatosan zajlik. Ennek alapját a robotizáció térhódítása mellett olyan új technológiák megjelenése, mint az additív gyártástechnológia, továbbá a hardveres és szoftveres rendszerek egyre erősebb integrációja adja. Ezen folyamat kiteljesedése a kiber-fizikai gyártórendszerek elképzeléssel írható le, mely paradigmaváltás motiválta kutatóintézetünket arra, hogy létrehozzon egy SmartFactory elnevezésű kísérleti kiber-fizikai gyártórendszert [1, 2]. A rendszer, hogy lépést tartson a fokozódó fejlődési tempót diktáló ipari technológiai megoldásokkal, folyamatosan újabb és újabb elemekkel egészül ki. Jelenleg is folyik egy rajrobotikai logisztikai alrendszer fejlesztése, melynek munkadarab ellátását hivatott a cikkben bemutatott kiszolgáló robot (1. ábra) ellátni a rendszer magasraktárából.



1. ábra. Integrált robotikai kiszolgáló alrendszer (a) és elhelyezkedése a SmartFactoryban (b)

A méretkorlátok miatt, amit a demonstrációs rendszer megkövetel, a kezdetektől egy asztali robotos (desktop robotic) megoldást preferáltunk. Ezen robottípus igazán elterjedt lett az utóbbi években, ezért piacutatást tartottunk (1. táblázat). Alapvetően az elvárásaink a rendszerrel szemben, hogy a lehető legolcsóbban, elégséges munkatér mellett, bírja el a rendszerben szállított munkadarabokat és integrálható legyen a fennálló szoftver infrastruktúrába. A BCN3D MOVEO robot több szempontból is a legalkalmasabbnak bizonyult, hála 3D nyomtatással előállítható vázának (alacsony költség és áttekinthetőség), valamint szabadon választható vezérlője és nyílt szoftvere egyszerűen rendszerbe illeszthetővé teszi. Az eredeti robot fejlesztése a katalán oktatási minisztérium támogatásával valósult meg egy additív gyártástechnológiával foglalkozó cég bevonásával [5]. Ennek a robotnak az áttekinthetőségével és megépítésével egy, a saját rendszerünk megjelenésébe illő, teljes mértékig integrálható eszközt hoztunk létre.

1. táblázat – Asztali robotok

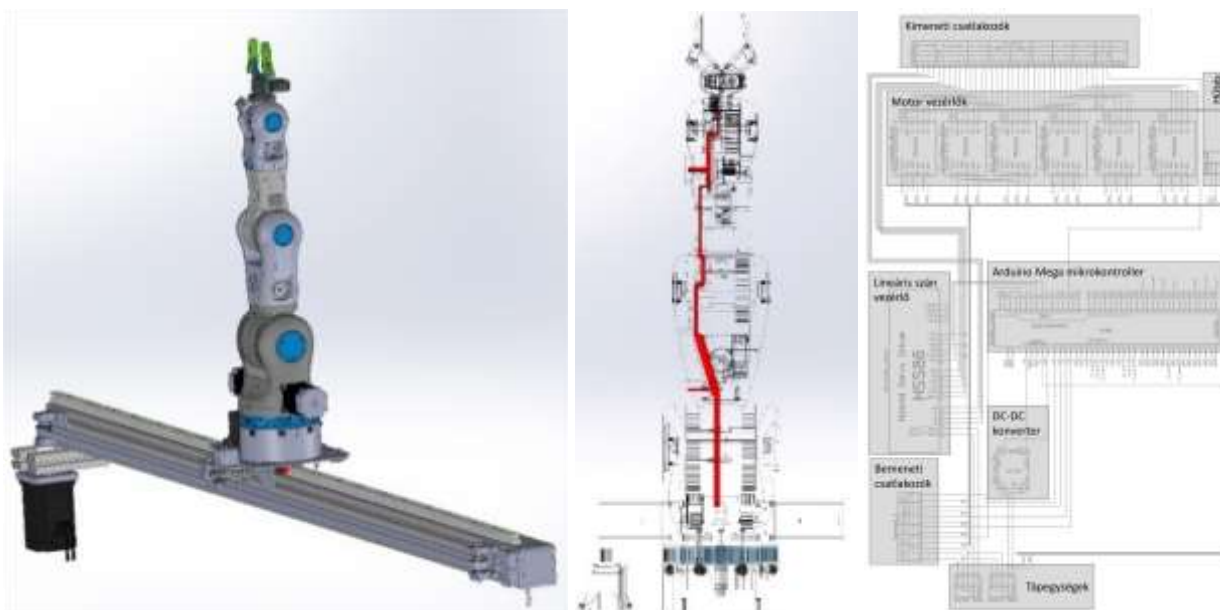
Megnevezés	Vezérelt tengelyek száma	Teherbírás (g)	Kinyúlás (mm)	Vezérlő	Szoftver	Ktg. (eHUF)
Hiwonder xArm 1S [3]	5+1	900	210	Hiwonder ARM Controller Board	Easy Visual Operation Interface	72
uArm Swift Pro [4]	4	500	320	Arduino Mega 2560	uArm Studio	225
BCN3D MOVEO [5]	5	500	600	Arduino Mega 2560	BCN3D Moveo Firmware	250
Rotrics DexArm [6]	4	500	380	DexArm Integrated Controller	DexArm Program Library API	300
WLKATA Mirobot [7]	6+1	150	235	Arduino Mega 2560	Mirobot function library SDK	360
Dorna 2 [8]	5	1500	500	Dorna Integrated Controller	Python Development API	450
DOBOT Magician [9]	4	500	320	Dobot Integrated Controller	Dobot Program Library	500
Niryo One [10]	6	500	440	Arduino Mega v. Raspberry Pi 3	Niryo One Studio	775
IGUS RL-DP [11]	4 v. 5	500	450	Igus Integrated Controller	iRC software	2500
HORST600 [12]	6	3000	584	horstCONTROL	horstFX	3500

## 2. GÉPÉSZETI ÁTTERVEZÉS ÉS MEGVALÓSÍTÁS

A robot kiválasztásakor már tisztában voltunk vele, hogy a konstrukciót módosítani szükséges, hogy bizonyos műszaki elvárásainknak megfeleljen és illeszthető legyen a SmartFactory már meglévő eszközkészletébe. Korábbi robotikai projektek kapcsán tapasztaltuk a robotok külső kábelvezetéséből származó nehézségeket (például, nem, vagy csak nagyon nehezen illeszthető ütközésvizsgálati és pályatervező szoftverekbe), emiatt elsődleges elvárásunk a robot kábelezésnek teljes mértékben testen belüli elvezetése. Ez a változtatás jelentős esztétikai javulást is eredményezett, amely nem elhanyagolható egy demonstrációs eszköz esetén. Az áttekinthetőség nagy eredménye ezen felül, hogy a robot utolsó tagján csatlakozó került kialakításra a megfogó számára, így a megfogó cseréje is egyszerűen megoldható; illetve emellett helyett kapott egy tool I/O csatlakozó is, mely lehetőséget ad arra, hogy további érzékelők és beavatkozók tápellátását és kommunikációs kapcsolatát biztosítsuk a vezérlővel. A tool I/O vezetékai a vezérlőszekrényben szabadon átköthetőek, ezáltal tetszőleges jel és tápfeszültség juttatható el a robot karimára. Ezenkívül a robotikai kiszolgáló rendszer munkatérét jelentősen megnöveltük egy lineáris szán segítségével, hogy a magasraktárból származó munkadarabok közvetlenül szállíthatóak legyenek a rendszerben található kollaboratív robotkarhoz, valamint a rajrobotikai logisztikai alrendszer számára is több munkadarab átadási pont kialakítására nyújt lehetőséget ez a konstrukció. Az átalakítások ezenkívül a tengelyek kotyogásának csökkentését, az egyes elemek mechanikai megerősítését és a nyomtatékvitel javítását célozták.

A kábelvezetés belső megvalósításához a 3D nyomtatott elemekben végig létre kellett hozni egy megfelelő keresztmetszetű hornyot, melyben a vezetékek elférnek és jelentősen nem gyengíti meg a mechanikai teherbírást. Értelemszerűen a motoroknál a hozzájuk tartozó vezetékek leágaznak, így az egyre karcsúsodó elemekben egyre kisebb hornyra van szükség. A hornyok létrehozásánál figyelembe kellett venni a szerelhetőség kritériumát, és a vezetékek rögzíthetőségét is. A vezetékezés nyomvonalát a 2.b ábrán látható.

A munkatér megnövelésére egy praktikus műszaki megoldás a robot lineáris szánra szerelése. Mivel a 3D nyomtatott vázzal rendelkező robot tömege relatív alacsonyabb más anyagok és technológiák felhasználásával készült robotokéhoz képest, a kisebb mozgatandó tömeggel jobb dinamikai tulajdonságok érhetőek el. A szán megvezetését egy lineáris vezeték és egy kocsi látja el, míg a mozgatását egy hibrid léptetőmotor biztosítja fogasszíjhajtás segítségével. A megvalósult felépítés modelljét a 2.a ábra mutatja.



2. ábra. A teljes rendszer CAD modellje (a), kábelvezetés nyomvonalát (b) és a vezérlő kapcsolási rajzát (c)

### 3. VEZÉRLÉS ELEKTRONIKÁJA ÉS SZOFTVERE

Az elektronikával szemben támasztott követelmények az alábbiak: legyen képes a motorokat stabilan, megfelelő tartónyomaték mellett, meghatározott szögelfordulással és sebességgel mozgatni, továbbá legyen képes kapcsolódni a SmartFactory központi vezérlőjéhez szabványos kommunikációs protokollon keresztül; ezenfelül tartalmazzon olyan biztonsági funkciókat, hogy vészstoppal bármikor megállítható legyen minden jellegű mozgás a tartónyomaték megtartása mellett, és ne szaladjon túl megengedett végállásokon semelyik hajtott tengely. Emellett kiegészítő elvárásaként merült fel a rendszer oktatási célú hasznosítása is, amit egy biztonságosan megtekinthető és könnyen átlátható vezérlőszekrény alapoz meg, amely segítségével elmagyarázható a rendszer felépítése és működése. A követelményeknek megfelelő vezérlő elektronika az 1.b ábrán látható a megvalósult környezetben.

Az elektronika alapvetően egy Arduino Mega mikrokontroller köré épül, mely a vezérlés alapja. Ez logikai jelszinten (DC 5 V) kommunikál a SmartFactory központi vezérlőjével és a léptetőmotor vezérlőkkel is, illetve interrupt lábakon fogadja a végálláskapcsolók és a vészstop állapotát. A lineáris hajtás léptetőmotor vezérlője DC 60 V-tal, a robotban található léptetőmotorok vezérlői 24 V-tal működnek, így két nagyteljesítményű, eltérő feszültségű DC tápegység is került a vezérlőszekrénybe. Az Arduino DC 12 V-ról üzemeltethető üzembiztosan, ezt egy DC-DC konverterrel a 24 V-ból állítjuk elő. Az elektronika kapcsolási rajzát és értelmezését a 2.c ábra mutatja.

A robotikai kiszolgálórendszer két fő komponensből áll vezérléstechnikai szempontból: a megfogóval felszerelt, valamint öt vezérelt tengellyel rendelkező robotkarból és a lineáris szánrendszerből. A robotkar léptetőmotorjait, illetve a megfogó szervomotorját is lehetőségünk van egyenként szoftveresen megadott végállások között mozgatni. Emellett a robot komplex rendszerként is vezérelhető, csukló és lineáris interpolációval. Az utóbbi esetekben a robotkar munkatérében megadott pontra mozgatható a robot vezérelt pontja (célszerűen az összezárt megfogó pófák végpontja) anélkül, hogy a konkrét csuklóelfordulásokkal a

felhasználónak foglalkoznia kéne. A korábban hosszan taglalt, rejtett kábelezés továbbá azt teszi lehetővé, hogy nem szükséges folyamatos emberi felügyelet a "felcsavarodó" kábelek kezelésére, már a betanítás során sem. A lineáris szánrendszer egy fokkal egyszerűbb vezérléstechnikai szempontból, hisz egy végállás kapcsolók között hajtott tengelyről beszélünk. A két komponens szinkronvezérlése fejlesztési terveink között szerepel.

Az alrendszer hasznosításához elengedhetetlen volt szoftveres integrálása a SmartFactory rendszer központi precedencia-gráf alapú vezérlőjébe, mely összehangolja az összes egység működését. Alapvető szervezési logikája a vezérlőnek a moduláris, funkció-alapú programhívás, ami jelen alrendszer esetében a kialakított munkadarab pozíciókból történő felvételt és letételt jelenti. Ezen utasításkészlet kialakításához szükséges volt betanítani a pontokat megfelelő megfogó orientációval, és az esetleg szükséges közbenső biztonsági pontokat ütközések elkerülése végett. A vezérlők közötti kommunikációt soros porton keresztül megvalósított aszinkron, string formátumú üzenetküldéssel oldottuk meg.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben bemutatásra került egy integrált robotikai kiszolgáló alrendszer életútja az igény felmerülésétől az üzembehelyezésig. Az első fejezetben bemutatásra került az alrendszer környezete, továbbá a robotkar kiválasztását támogató piackutatás. A második fejezet taglalja a gépészeti áttervezést és kialakítást, különös hangsúlyt fektetve a rejtett kábelezés megvalósításának körülményeire. A harmadik fejezet együtt ismerteti a vezérlés elektronikai, logikai és szoftveres kivitelezését, kitérve a befogadó rendszerbe történő integrálásra. A bemutatásra került robotikai alrendszer működőképes és a vele szemben támasztott elvárásokat maximálisan kielégíti. További fejlesztési lehetőség a robot és a lineáris szán szinkronizált vezérlésének kialakítása.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikációban szereplő projektet, amelyet Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. Abai Kristóf külön köszöni a „Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program – Digitális ipari technológiák kutatása a Széchenyi István Egyetemen” projekt (TUDFO/47138-1/2019-ITM) támogatását.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Monostori L. et al. *Cyber-physical systems in manufacturing*. CIRP Annals, 2016, 65(2), 621-641.
- [2] Kemény Zs. et al. *The MTA SZTAKI Smart Factory: Platform for Research and Project-oriented Skill Development in Higher Education*. Procedia CIRP, 2016 (54) 53-58.
- [3] \*\*\* *Hiwonder xArm 1S specifikáció*. <https://www.hiwonder.hk/products/xarm-hiwonder-intelligent-bus-servo-robotic-arm-for-programming> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [4] \*\*\* *uArm Swift Pro specifikáció*. <https://www.trossenrobotics.com/uarm-swift-pro.aspx> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [5] \*\*\* *BCN3D MOVEO specifikáció*. <https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [6] \*\*\* *Rotrics DexArm specifikáció*. <https://www.rotrics.com/pages/dexarm-spec> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [7] \*\*\* *WLKATA Mirobot specifikáció*. <https://www.robotshop.com/eu/en/wlkata-6-axis-mini-robot-arm-mirobot-education-kit.html> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [8] \*\*\* *Dorna 2 specifikáció*. <https://dorna.ai/robot/dorna-2/> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [9] \*\*\* *DOBOT Magician specifikáció*. <https://www.dobot.cc/dobot-magician/specification.html> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [10] \*\*\* *Niryo One specifikáció*. <https://niryo.com/docs/niryo-one/user-manual/mechanical-specifications/> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [11] \*\*\* *IGUS RL-DP specifikáció*. <https://www.igus.hu/product/20239> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [12] \*\*\* *HORST600 specifikáció*. <https://fruitcore-robotics.com/en/horst600/> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).