

VARGA ROLAND
SZAKDOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK



SZAKDOLGOZATOK



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK

VARGA ROLAND
SZAKDOLGOZAT

**Ember és robot kooperációjának demonstrálása
Sakkozó iiwa robotkar segítségével**

*Demonstrating human-robot collaboration
With chess-playing iiwa robotic arm*

Konzulens:

Magyar László
tesztmérnök

Témavezető:

Dr. Czmerk András
egyetemi adjunktus

Budapest, 2018

Ide kell befűzni az eredeti feladatkiírási lapot!

NYILATKOZATOK

Beadhatósági nyilatkozat

A jelen szakdolgozat az üzem által elvárt szakmai színvonalnak mind tartalmilag, mind formailag megfelel, beadható.

Kelt,

Az üzem részéről:

üzemi konzulens

Elfogadási nyilatkozat

Ezen szakdolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Diplomatervezési és Szakdolgozat feladatokra előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a feladatkiírásban előírtaknak maradéktalanul eleget tesz. E szakdolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja:

témavezető

Nyilatkozat önálló munkáról

Alulírott, Varga Roland (XZYX5L), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2018

szigorló hallgató

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	1
1.1. Célkitűzés	1
1.2. Áttekintés	1
2. Irodalomkutatás	2
2.1. Ipar 4.0 eredete	2
2.2. Előnyei	2
2.3. Kialakítási alapelvek	3
2.3.1. Összekapcsolás	3
2.3.2. Információs átláthatóság	4
2.3.3. Decentralizált döntéshozatal	5
2.3.4. Technikai asszisztens	5
2.4. Ember-robot kollaboráció	6
2.4.1. Fogalmak tisztázása	6
2.4.2. Biztonsági szempontok ember-robot kollaboráció esetén	7
3. Alkalmazáshoz szükséges műszaki feltételek elemzése	10
4. Robotkar kalibráció, referencia felvétel kidolgozása	11
5. Robotkar mozgásának definiálása és programozása	12
6. Sakkalgoritmus beágyazása	13
7. Eredmények értékelése	14

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és angol nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

1. BEVEZETÉS

1.1. Célkitűzés

A szakdolgozat célja megismertetni az olvasóval az Ipar 4.0 (az ipari fejlődés egyik legújabb és legmeghatározóbb trendje) fontos elemét, az ember-robot kollaborációt. A fókuszban egy gyakorlati megvalósítás, egy demo áll, viszont általános irányelvek és módszerek is taglalásra kerülnek. A szakdolgozat feltételezi, hogy az olvasó rendelkezik alapszintű ismeretekkel az Ipar 4.0 főbb elemeit illetően. Az íromány fő szerepe az Ipar 4.0 egy kisebb részletének praktikus, szemléletes bemutatása, de mégis érdemes rendszerszemléletűen hozzágondolni a többi elemét is, mivel így kaphatunk csak teljes képet ennek funkciójáról.

1.2. Áttekintés

Első körben a 4. ipari forradalom főbb vonásai kerülnek bemutatásra, különös tekintettel az ember-robot együttműködésre (későbbiekben HRC - Human-Robot Collaboration). Ezen belül több balesetmegelőző lépcsőfokról is szó lesz azért, hogy szemléletesebbek legyenek az előnyök. Ezt követően a szakdolgozat magját jelentő demóhoz használt KUKA LBR iiwa 7 R800 robotkarhoz tartozó biztonságtechnikai fogalmakat és specifikációkat ismertetem, mivel ennek keretében beszélhetünk a HRC-vel kapcsolatos funkciókról.

2. IRODALOMKUTATÁS

2.1. Ipar 4.0 eredete

Az Ipar 4.0 koncepcióját Németországban dolgozták ki, ahol világszinten kiemelkedő a termelési iparág, illetve világvezető a gyártó eszközök területén. Az Ipar 4.0 a német kormány stratégiai kezdeményezése volt, mely nagy mértékben támogatta az ipari szektor fejlesztését. Ilyen értelemben az Ipar 4.0-ra tekinthetünk egy olyan mozgalomként, amelynek célja megőrizni Németország befolyását a gépiparban és az autógyártás területén.[1]

Az alap koncepciót először a Hanover Fair-en¹ prezentálták 2011-ben. A bemutató óta az Ipar 4.0 Németország vezető témája a kutatások területén, egyetemi és ipari környezetekben különféle eseményeken. A fő irányvonal az új technológiákban és koncepciókban rejlő potenciál kihasználása felé mutat, ilyen területek:

- az IoT (Internet of Things²) elérhetősége és kihasználása,
- a technológiai és gazdasági folyamatok integrációja cégen belül,
- a valóság virtuális leképezése,
- 'okos' gyárak beleértve az 'okos' gyártást és termékeket.

2.2. Előnyei

Amellett hogy a digitalizáció és az új technológiák természetes következménye, az Ipar 4.0 megjelenése szintén kapcsolatban áll azzal a ténnyel, hogy a gyártásban a profit növelésére irányuló kezdeményezések, lehetőségek nagy része kiaknázásra került, új megoldásokat kellett keresni. A gyártási költségek csökkentek a Just-In-Time (röviden JIT) termelés bevezetésével, a lean elveinek alkalmazásával és a gyárak olyan helyre telepítésével, ahol a munkaerő lényegesen olcsóbb. Ha az előállítási költségek minimalizálása a célunk, az Ipar 4.0 egy ígéretes megoldásnak tűnik. Számos forrás alapján az Ipar 4.0 alkalmazása csökkentheti[2]:

- a gyártás költségét 10-30%-kal,
- a logisztikával kapcsolatos kiadásokat 10-30%-kal,

¹A hannoveri a világ egyik legnagyobb kereskedelmi bemutatója. Körülbelül 6500 kiállító és 250.000 látogató vesz részt ezen a rendezvényen.

²A Dolgok internete fizikai eszközökből, járművekből, otthoni felszerelésekből és további elektronikát, szoftvert, szenzorokat, aktuátorokat tartalmazó tételekből álló hálózat, amelyek képesek egymással kapcsolatba lépni, adatot fogadni és küldeni.

- a minőségmenedzsmenthez köthető költségeket 10-20%-kal.

Ezekon kívül a koncepció alkalmazásának számos egyéb előnyéről szólhatunk: (1) új termékek piacra kerülési ideje csökken, (2) érzékenyebb reagálás a megváltozott vásárlói igényekre, (3) lehetővé teszi a személyreszabott tömeggyártást az összegyártási költség jelentős növelése nélkül, (4) rugalmasabb és barátságosabb munkakörnyezetet teremt, (5) a természetes erőforrásokat hatékonyabban hasznosítja.

2.3. Kialakítási alapelvek

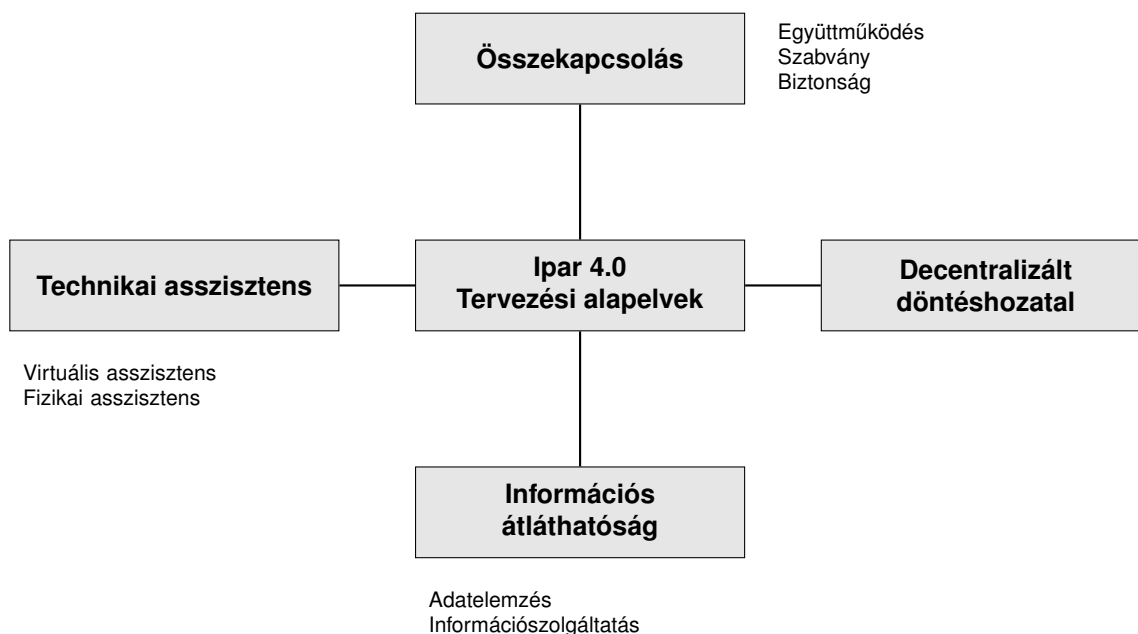
A számos szövegelemzés és átfogó irodalmi áttekintés négy fő dizájn elvet emelt ki, hogy irányvonalat mutasson a szakértőknek és tudósoknak az Ipar 4.0 környezet kialakításához: összekötés, információs átláthatóság, decentralizált döntéshozatal és technikai asszisztens (1. ábra). Ezek az alapelvek a következő alfejezetekben kerülnek részletes tárgyalásra az egyetemi és ipari publikációkban használt kifejezések (és következésképpen a kialakítási alapelvek) rövid elemzése után.

Összességében a két különböző típusú publikáció szövegelemzése nem mutat lényeges eltérést, mindkettő típus külön-külön elemzése ugyanazokat a kialakítási alapelveket eredményezi. Azonban szembe tűnő, hogy egyes dizájn elemeket gyakrabban tárgyalnak a gyakorlati publikációkban. Az ember-robot kollaboráció, adat- és információbiztonság és a decentralizált döntéshozatal gyakrabban fordul elő ipari kiadványokban. Az első kettővel kapcsolatos értekezések magas száma rávilágít az Ipar 4.0 eredményes implementálásának legnagyobb kihívásaira amivel az iparban dolgozók szembesülnek. Mindeközben a decentralizált döntéshozatalt tekintik az Ipar 4.0 legproblémásabb elemének, és ezért ez rendkívül részletes és átfogó tárgyalásra kerül.

2.3.1. Összekapcsolás

Gépek, eszközök, szenzorok és emberek kapcsolatba lépnek IoT-n (Internet of Things - Dolgok internete) és IoP-n (Internet of People - Emberek internete[3]) keresztül és így formálnak egy IoE-t (Internet of Everything - Minden internete[4]). A vezeték nélküli technológiák kiemelkedő szerepet játszanak az interakciók során, mivel lehetővé teszik az internetes hozzáférést mindenfelé. Az IoE-n keresztül összekötött emberek és eszközök képesek egymással információt megosztani, ami a kollaboráció alapját jelenti a közös célok elérése érdekében. 3 különböző típust különböztethetünk meg az IoE kapcsán: ember-ember együttműködés, **ember-robot kollaboráció** és robot-robot kollaboráció.[5]

A különböző gépek, eszközök, érzékelők és emberek egymás közti interakciója során elengedhetetlen szerepe van a széles körben elfogadott kommunikáci-



1. ábra: Ipar 4.0 tervezési szempontok

ós szabványoknak. Ezek teszik lehetővé a különböző gyártóktól érkező moduláris eszközök rugalmas kombinálását. Ez a modularizáció az alapfeltétel, hogy az Ipar 4.0 'okos' gyárai alkalmazkodni tudjanak a folyamatosan változó piaci igényekhez vagy a személyreszabott rendelésekhez.

Ahogy nő az IoE-ben részt vevők száma, a monetáris³ és politikai érdekek meg fogják növelni az ilyen létesítmények elleni káros támadások számát, így az igény is nőni fog a magasabb fokú informatikai biztonság iránt.

2.3.2. Információs átláthatóság

Az összekapcsolt objektumok és emberek növekvő számának köszönhetően, a fizikai és a virtuális világ egybeolvadása lehetővé tesz egy újfajta információs modellt[6]. Az érzékelők összekapcsolása révén képezhetünk egy digitális, virtuális leképezést a világunkról.

Az összefüggés-tudatos információ az IoE résztvevői számára elengedhetetlenek a megfelelő döntések meghozatalához. Az ilyen összefüggés-tudatos rendszerek a feladataikat virtuális és a fizikai világból érkező információk alapján látják el. A virtuális világból érkező információkra példák az elektronikus dokumentumok, rajzok, szimulációs modellek. A fizikai világ információi például a pozíció vagy a szerszám állapota. A fizikai világ elemzéséhez az érzékelők felől érkező nyers adatokat magasabb szintű értelmezési és egyéb információval kell kiegészíteni. Ahhoz,

³pénzhez vagy valutához kötődő

hogy az átláthatóságot fenntartsuk, az adatelemzés eredményeit egy olyan kisegítő rendszerbe kell bevinni, ami minden IoE résztvevő számára elérhető. A folyamatkritikus információk esetén a valós idejű adatszolgáltatás elengedhetetlen.

2.3.3. Decentralizált döntéshozatal

A decentralizált döntések meghozatalának két alappilére az objektumok és emberek összekapcsolása, illetve a termelő létesítményen belülről és kívülről érkező információk átláthatósága. Az összekapcsolt és decentralizált döntéshozó egységek lehetővé teszik a lokális információk globálissal együtti felhasználását egyazon időben, így elősegítve az átgondoltabb döntéshozatalt és így növelve összességében a termelékenységét. Az egyes IoE elemek a feladataikat annyira önállóan látják el, amennyire csak lehet. A feladatok csak kivételek, zavarok vagy ellentmondásos célok esetén kerülnek továbbításra magasabb szintre.

Gyakorlati szempontból a decentralizált döntéshozatalt a kiber-fizikai rendszerek teszik lehetővé. Ezek beágyazott számítógységeinek, szenzorainak és aktuátorainak felhasználásával történik fizikai világ autonóm nyomon követése és az irányítása.

2.3.4. Technikai asszisztens

Az Ipar 4.0 'okos' gyáraiban az ember szerepe alapvetően megváltozik, gépkezelő helyett inkább stratégiai döntéshozóvá és rugalmas problémamegoldóvá válik. A termelési folyamatok növekvő komplexitása miatt, ahol a kiber-fizikai rendszerek összetett hálózatot alkotnak és decentralizált döntéseket hoznak, az embereknek támogató rendszerekre van szükségük. Ezeknek a rendszereknek a szerepe az információk összegyűjtése és megjelenítése egyértelműen és érthetően annak érdekében, hogy az emberek jól megalapozott döntéseket tudjanak hozni, és magas prioritású problémákat tudjanak megoldani rövid időn belül. Jelenleg az embereket főként az okostelefonjaik és táblagépeik kötik össze az IoT-vel[7]. A hordozhatóság kiemelkedően fontossá fog válni a jövőben amint a jelenlegi kihívásokon (mint például az energiaellátás) sikerül felülkerekedni.

Az emberek robotok általi fizikai kisegítése (a robotika területen elért fejlesztésekkel) szintén a technikai asszisztens szerep részét képezi. A robotok számos feladatot képesek elvégezni, amelyek az ember számára kellemetlenek, túl fárasztóak vagy veszélyesek más munkásokra nézve[8]. Az emberek fizikai feladatokban hatékony, sikeres és biztonságos segítésének érdekében szükséges, hogy a robotok az ember társaikkal zökkenőmentesen és intuitívan működjenek együtt[8]. Ezen felül elengedhetetlen, hogy az emberek megfelelő képzésben részesüljenek az adott

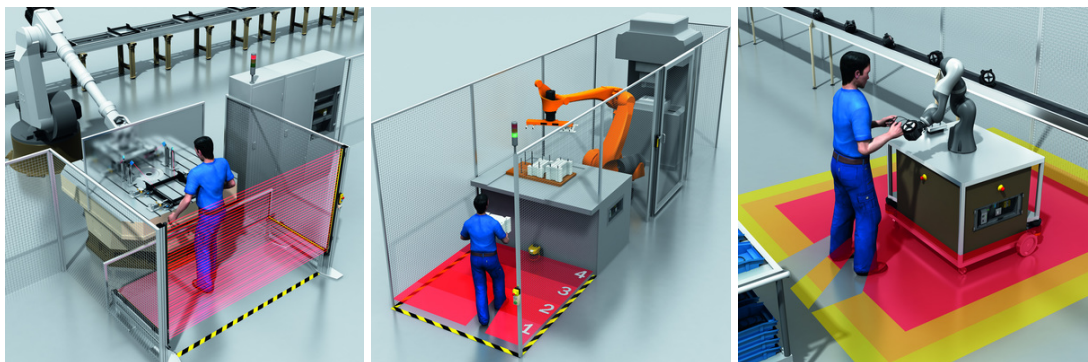
ember-robot kollaborációhoz[9].

2.4. Ember-robot kollaboráció

2.4.1. Fogalmak tisztázása

Az ember és a robot közösen végzett feladataikat különböző interakciós szinteken valósíthatják meg, ezeket érdemes egymástól elhatárolni⁴ (2. ábra):

1. Robot cella (Robotic cell): a robot önállóan végzi a feladatát az embertől kerítéssel elválasztva. Ez esetben nem beszélhetünk ember-robot együttműködésről.
2. Együttes jelenlét (Coexistence): a robot és az ember közel helyezkedik el egymáshoz védőkerítés nélkül, de nincs közös munkaterük. A robotnak van saját meghatározott tere.
3. Szinkronizált munkavégzés (Synchronized work): olyan elrendezés, melyben az ember és a robot osztozik egy közös munkateren, de egyszerre csak egyikük aktív. A munkamenet az ember és a robot jól definiált 'koreográfiája'.
4. Kooperáció (Cooperation): a két „partner” mindegyike a saját feladatával foglalkozik. A munkaterük lehet közös, de nem dolgozhatnak sem ugyanazon a terméken, sem ugyanazon a munkadarabon.
5. Kollaboráció (Collaboration): olyan elrendezés, amely esetén az ember és a robot közösen és szimultán dolgozik egyazon terméken vagy munkadarabon. Tipikusan a robot megfogja, átnyújtja és tartja a munkadarabot amíg a munkás dolgozik rajta.



2. ábra: Balról jobbra: együttes jelenlét, kooperáció, kollaboráció⁵

⁴Forrás: <https://hohmannchris.wordpress.com/2017/02/08/cobots-more-cooperation-than-collaboration/>

2.4.2. Biztonsági szempontok ember-robot kollaboráció esetén

A biztonságos ember-robot együttműködés érdekében az elmúlt években különböző stratégiák lettek kifejlesztve. Ezek a módszerek különböző biztonságtípusra építenek, többek közt[10]:

- az ütközésbiztonság érdekében csak 'biztonságos' /kontrollált ütközésre kerülhet sor robotok, emberek és akadályok között. Az emberekre gyakorolt erő/nyomaték határolása a fő szempont.
- aktív biztonsági rendszer az ember és a berendezés közötti közelgő ütközések időben történő észlelésére és a művelet megszakítására ellenőrzött módon. Távolságérzékelők, látórendszerek és erő/érintkező érzékelők használhatóak erre a célra.
- a hardver elemek működtetése során adaptív biztonsági stratégia a beavatkozáshoz, illetve korrekciós eljárások implementálása, amelyek az ütközéseket a munkafolyamat megszakítása nélkül kerülik el.

Ilyen irányban nemzeti és nemzetközi szabványokat, irányelveket és törvényeket vezettek be annak érdekében, hogy a rendszerintegrátorok könnyen be tudják építeni a biztonsági metódusokat a saját rendszerükbe. Tekintettel arra, hogy egy kollaborációs munkatér nem csak az ember és a robot tartózkodik, hanem egyéb segédberendezések is megjelennek (például: elektromos csavarbehajtók, elektromos szorítóberendezések stb.) minden egyes cella egyedülálló kockázatot jelent biztonságtechnikai szempontból. Ebből kifolyólag minden berendezés és folyamat esetén be kell tartani az ezekre vonatkozó hatályos törvényeket és szabványokat. Az 1., 2. és 3. táblázatok indikatív példákat tartalmaznak az EU legismertebb törvényei és általános normáiból válogatva.

1. táblázat: EU Directives

Title	Description
2006/42/EC	Machinery Directive (MD)
2009/104/EC	Use of Work equipment Directive
89/654/EC	Workplace Directive
2001/95/EC	Product Safety Directive
2006/95/EC	Low Voltage Directive
2004/108/EC	Electromagnetic Compability Directive (EMC)

⁵Képek forrása: <https://www.safetysolutions.net.au/content/machine/article/safety-solutions-for-intelligent-human-robot-collaboration-990038334>

2. táblázat: Indicative general standards

Title	Description
EN ISO 12100	Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction
EN ISO 13849-1/2	Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design, Part 2: Validation
EN 60204-1	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements
IEC 62061	Safety of machinery - Functional safety of safety related electrical, electronic and programmable electronic control systems

3. táblázat: Robot standards

Title	Description
EN ISO 10218-1	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots
EN ISO 10218-2	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration
ISO/PDTS 15066	Robots and robotic Devices - Collaborative Robots

Jelenleg közel 30 aktív uniós irányelv és körülbelül 600 szabvány létezik a biztonságtechnikával kapcsolatosan. Különösen robot cellákkal kapcsolatban 3. táblázat előrevetít számos különböző stratégiát a megfelelő biztonság kialakítására. Pár a legfontosabbak közül[10]:

- **Biztonsággal kapcsolatos vezérlőrendszerek teljesítménye:** biztonságkritikus vezérlőrendszer-egységeknek biztosítaniuk kell, hogy az egyes hibákra van oly mértékű tolerancia, hogy a biztonságot nem veszélyezteti.
- **Robotmegállító funkciók:** minden robotnak rendelkeznie kell védőleállító funkcióval, továbbá független vészleállító funkcióval. Külső biztonsági berendezésekkel való kapcsolatot is biztosítani kell.
- **Sebességkorlátozás:** a robot végén található beavatkozó és a szerszámközéppont (TCP - Tool Center Point) sebessége kontrollálható kell legyen. Kollaboratív munkaállomások esetén a TCP sebessége nem haladhatja meg a 250 mm/s-ot.
- **Kollaboratív műveletekre vonatkozó követelmények:** együttműködésre képes robotok kell hogy működtessenek valamilyen látható indikátort amikor a robot kollaboratív műveletet hajt végre. A következő követelmények érvényesek:
 - **Biztonsági rendszer által kezdeményezett felügyelt megállás:** a robot-

nak kötelező megállnia, amikor az ember a kollaboratív munkaterületen tartózkodik. Amint az ember elhagyja ezt a területet, a robot folytathatja az automatikus munkavégzési folyamatot.

- **Kézi vezetés** (Hand guiding): a kézi vezetéshez alkalmazott berendezésnek tartalmaznia kell egy vészleállítót és egy engedélyező szerkezetet. E művelet során biztonságkritikai szempontból tanúsított módon nyomon kell követni a robot sebességét. Számos technológia felhasználható az ember által kézzel történő irányításhoz, mint például az impedancia vagy a merevség szabályozása.
- **Sebesség és pozíció monitorozása**⁶: a robot fent kell tartson egy adott távolságot az üzemeltetőtől. Ezt integrált jellemzők vagy külső inputok kombinációjának figyelésével tudja megvalósítani.
- **Teljesítmény- és erőhatárolás belső dizájnnal**: a teljesítmény-/erőhatároló funkcióknak be kell tartatniuk a szabvány által meghatározott határértékeket. Ha ezt túllépik, megállást kell eszközölniük.
- **Vezérlőrendszer által határolt erő és teljesítmény**: egy vezérlőfunkció biztosítja, hogy a maximális erő és teljesítmény értékeket ne lehessen túllépni.
- **Robot mozgásterének korlátozása**: feleslegesen nagy tér elhatárolása szükséges, ha a robotnak engedélyezett a teljes mozgástartomány kihasználása. A mozgástér leszűkítése lehetséges a robotba integrált rendszerek kihasználásával vagy külső korlátozó eszközök telepítésével, illetve e kettő kombinációjával. Dinamikus korlátozás érhető el vezérlőeszközök (kapcsolók, fényfüggönyök stb.) alkalmazásával, ha további limitációkra van szükség a robotprogram végrehajtása során.

⁶folyamatos megfigyelés

3. ALKALMAZÁSHOZ SZÜKSÉGES MŰSZAKI FELTÉTELEK ELEMZÉSE

4. ROBOTKAR KALIBRÁCIÓ, REFERENCIA FELVÉTEL KIDOLGOZÁSA

5. ROBOTKAR MOZGÁSÁNAK DEFINIÁLÁSA ÉS PROGRAMOZÁSA

6. SAKKALGORITMUS BEÁGYAZÁSA

7. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

HIVATKOZÁSOK

- [1] Andreja Rojko. Industry 4.0 concept: Background and overview. 2017.
- [2] Thomas Bauernhansl, Jörg Krüger, Gunther Reinhart, and Günther Schuh. Wgp-standpunkt industrie 4.0. Technical report, Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik, 2016.
- [3] T. Vilarinho, B. A. Farshchian, J. Floch, and B. M. Mathisen. *A Communication Framework for the Internet of People and Things Based on the Concept of Activity Feeds in Social Computing*. July 2013.
- [4] F. J. N. d. Santos and S. G. Villalonga. Exploiting local clouds in the internet of everything environment. In *2015 23rd Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing*, March 2015.
- [5] C. Wesch-Potente G. Schuh, T. Potente and Annika Hauptvogel. Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physicalsystems. In *Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, March 2013.
- [6] Henning Kagermann. Change through digitization : value creation in the age of industry 4.0. 2015.
- [7] J. Miranda, N. Mäkitalo, J. Garcia-Alonso, J. Berrocal, T. Mikkonen, C. Canal, and J. M. Murillo. From the internet of things to the internet of people. *IEEE Internet Computing*, 19(2):40–47, Mar 2015.
- [8] M. Awais and D. Henrich. Human-robot interaction in an unknown human intention scenario. In *2013 11th International Conference on Frontiers of Information Technology*, pages 89–94, Dec 2013.
- [9] S. Jaschke. Mobile learning applications for technical vocational and engineering education: The use of competence snippets in laboratory courses and industry 4.0. In *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, pages 605–608, Dec 2014.
- [10] George Michalos, S Makris, Panagiota Tsarouchi, Toni Guasch, Dimitris Kontovrakis, and George Chryssolouris. Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces. *Procedia CIRP*, 37:248–253, 12 2015.

HRC Human Robot Collaboration

IoT Internet of Things

IoE Internet of Everything

TCP ITool Center Point