

Robotszimulációs rendszer megfelelőségének ellenőrzése valós robotos kísérlettel

Verifying the suitability of a robotic simulation system with a real robotic experiment

TANCSA Viktor, MSc hallgató, KUTROVÁ CZ Lajos, mesteroktató, DR. SZALAY Tibor PhD,
tanszékvezető egyetemi docens, DR. ZENTAY Péter PhD, egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és –technológia Tanszék,
H-1111, Budapest, Műegyetem rakpart 3., Tel.: +36 1 4632641, E-mail: mediforr12@gmail.com,
kutrovacz.lajos@gpk.bme.hu, szalay.tibor@gpk.bme.hu, zentay.peter.zoltan@gpk.bme.hu.
Honlap: www.manuf.bme.hu

Abstract

The application of simulation techniques is playing an increasingly important role in several areas of engineering, assisting in the solution of problems that arise in design tasks. Robotic simulation is a significant area in this field. The applicability of digital twins depend on the measure of how realistic a virtual model behaves. Therefore, it is important to know to what extent a simulation reflects reality. In the paper, the correspondence of robot motion time is examined between a real robotic cell and a simulation of an identical cell created in a manufacturer-independent off-line simulation system.

Keywords: robot simulation system, cycle time, off-line robot programming, similarity, robot trajectory

Kivonat

A szimulációs technikák alkalmazása a mérnöki gyakorlat több területén, így a robotszimulációk esetében is egyre fontosabb szerepet töltenek be, segítséget nyújtva a tervezési és végrehajtási feladatok során felmerülő kérdések megválaszolásában. Minden digitális iker esetében az alkalmazhatóság kritériuma a virtuális modell valósághű viselkedésének mértéke. Ezért lényeges ismerni, hogy a szimuláció mennyire tükrözi a valóságot. Jelen publikációban - ipari feladathoz kapcsolódóan – egy valós eszközökből megépített és egy gyártófüggetlen offline szimulációs rendszerben elkészített, egyszerűsített robotcella esetében vizsgáltuk a robotmozgási idők egyezőségét.

Kulcsszavak: robot szimulációs rendszer, ciklusidő, off-line robotprogramozás, hasonlóság, robot mozgáspálya

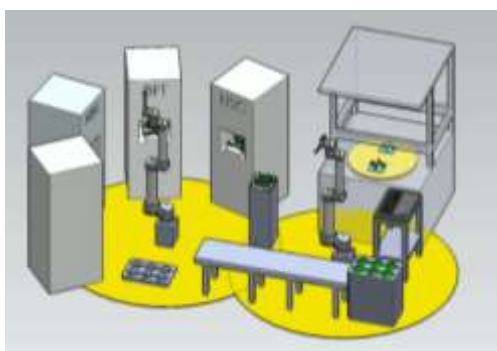
BEVEZETÉS

Napjainkban a virtuális szimuláció szinte elhagyhatatlan a modern robotos gyártórendszerek tervezésénél. A cellákban és a közöttük történő anyagáramlás előtervezése szempontjából is lényeges lehet a szimuláció, mellyel a gyártás szempontjából lényeges alapadatok is meghatározhatók. Alkalmazásával olyan fontos tervezési kérdésekre is választ kaphatunk, hogy megfelelő-e a robot darabszáma, típusa, megfelelő-e a cella elrendezése, illetve mekkora a rendszer teljesítmény igénye, energia fogyasztása, stb. A próba-futtatások iterációs lehetőséget nyújtanak a tervezési folyamat során az utólagos korrekciók kiküszöbölésére, amik a már megvalósult cellán nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem kivitelezhetők [1]. A szimulációk különböző szinteken, különböző rendszerekben készülhetnek, melyek a gyártás különböző szempontjaiból lényegesek. Magas szintű szimulációs rendszerben (mint pl.: a Technomatix/Siemens Plant Simulation) készült szimuláció lényeges a teljes gyártás menetének vizsgálatához, ciklusidő, kívánt gyártási darabszámok meghatározásához, a rendszer optimalizálásához, stb.[2] Itt a fő műveletek (beleértve a selejt gyártást és a leállások szimulálását is) és az anyagáram szimulálása a lényeg, az alacsonyabb cellaszintű műveletek részletei nem tartoznak a feladatok közé. Erre külön programokat használunk melyekkel például a robotok mozgását tervezhetjük meg (pálya és trajektória tervezés) és a robot programokat is előállíthatjuk. A rendszerek lehetnek gyártó specifikus, illetve gyártófüggetlen off-line programozási rendszerek [3][4]. A velük készített szimulációkból kinyerhetők

a valós robotok programjai, valamint a magas szintű rendszerek modelljeihez szükséges bemenő adatok, mint pl a robotok mozgás-ideje.[5] Előtervezésnél, ha még nem dől el a felhasznált robotok típusa, gyártója, célszerű gyártófüggetlen rendszert használni, hogy ne legyünk a tervezés elején a robotválasztásnál korlátozva.

AZ ÖSSZEHAISONLÍTÓ KÍSÉRLET SZÜKSÉGESSÉGE

Az alapfeladat egy autópárhazban felhasznált nyomtatott áramköri egység végszerelő és ellenőrző cella automatizálása volt. A cella feladata a mikroelektronikai elemekkel ellátott nyák lap csavarozó állomásban történő összeállítása és két különböző ellenőrző feladata végrehajtása. Jelenleg ez a feladat egy manuális cellában zajlik, melynek a ciklusideje és megbízhatósága nem kielégítő a jövőbeni gyártási darabszámok biztosításához. A cellán gyártási igénytől függően három különböző termék halad át melyeken belül is lehetséges kétféle változat. Ismert a csavarozó cella működésének átlagos ideje, illetve a munkadarab ellenőrző cellákban eltöltött átlagos ideje. A különböző gyártmányoknál ezek az idők eltérők, azonban az átlagos idők előző tapasztalatok (manuális cella) és az új csavarozó célállomás mérései alapján ismertek. Ezzel a feladat az emberi munkaerő kiváltására, cellán belüli munkadarab mozgatásra egyszerűsödött. Az egyes berendezések munkaideje különböző és a munkadarabtól függően is eltérő, ezért a merev automatizált munkadarab folyam itt nem alkalmazható. A munkadarab mozgatáshoz robotos megoldást választottunk. Az automatizált cella elrendezését az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Az automatizált, nyomtatott áramköri alkatrész gyártó és ellenőrző cella szimulációja

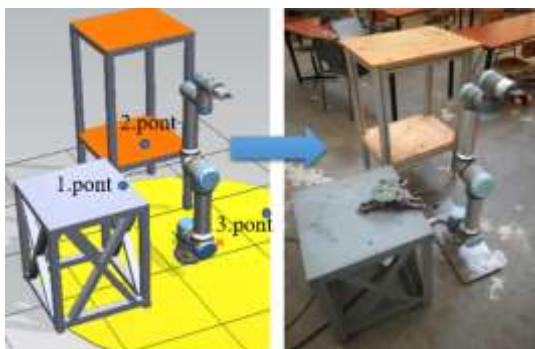
A megbízó cég által megadott átlagos darabszámot tekintve kiderült, hogy a cella ciklus ideje nagyon szűkös, még a mérőgépek megduplázásával is nehezen teljesíthető. Ha figyelembe vesszük az átlagos selejtképződés és az esetleges leállásokat is, akkor látható, hogy a ciklusidő pontos meghatározása szimuláció nélkül lehetetlen lenne.

Ehhez a szimulációhoz szükségünk volt a robotmozgások idejének pontos meghatározásához. Elkészítettük a cella részletes modelljét Process Simulate-ben, egy gyártófüggetlen szimulációs rendszerben. A modellen szimulációkat folytattunk, melyeket addig módosítottunk míg az ipari követelményeknek megfelelő elrendezést kaptunk. A szimulációból kinyert robotmozgás időket a Plant Simulation rendszerbe vittük át, mellyel a gyártórendszer ciklusidejét és gyártmány átbocsájtási kapacitását határoztuk meg.[6][7]

Felmerült a kérdés, hogy egy gyártófüggetlen rendszerrel elkészített szimuláció mennyire pontosan adja vissza a valós robotcella adatait. Amennyiben a szimulációból kapott eredmények pontatlanok, akkor a belőle felhasznált adatok elronthatják a magas szintű szimulációt is, és akár hibás következtetéseket is levonhatunk belőle. A cikkben ezt a kérdéskört járjuk körül.

A szimulációban kapott robotmozgás ellenőrzésére egy egyszerűsített kísérletet terveztünk, ahol a cellából csak egy feladatrészt ragadtuk ki. Erre elkészítettük a részletes szimulációt, ahol a berendezések lényeges távolságai megegyeztek a telepítendő cella valós méreteivel. A különbség csak a robot méretében volt, mivel a Tanszékünkön azonos gyártótól csak egy kisebb robot állt rendelkezésünkre (UR5e, UR10e helyet) [8]. A kísérletnél mind a szimulációban mind a valós esetben ezt a típust alkalmaztuk.

A tesztcella részét valós berendezésekből a BME Gyártástudomány és -technológia Tanszék műhelyében megépítettük. A virtuális és valós környezetben próbafuttatásokat végeztünk és ezek összehasonlításával értékeltük a virtuális modell megfelelőségét. A szimulációt és a valós elrendezést a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A cella virtuális, Process Simulate rendszerben és a valóságban elkészített modellje.

EREDMÉNYEK

Nemcsak a valós cellában az adott feladathoz szükséges összetettebb mozgásokat tanulmányoztuk, hanem egyéb robotmozgásokat is összehasonlítottunk, melyek robotos anyagmozgatásoknál lényegesebbek. Ezek között voltak egyszerűbbek, amelyeket könnyebb pontosan kivitelezni, és ezáltal a szimuláció és a valóság közötti esetleges eltérések okait pontosabban be lehet határolni. A hosszabb mozgásokkal pedig a mérési pontatlanságból származó zavarok hatása minimalizálható.

A Process Simulate-ban elkészített szimulációból generált program segítségével készítettük el az UR5e robotprogramokat (script). A kísérleteket a valós roboton végeztük a generált scriptek feltöltésével. A robotmozgások időtartamai a szimulációból közvetlenül megkaphatók, a valós cellánál pedig a robotvezérlőből kiolvashatók.

A szimulációs és a valós mérések eredményeinek összehasonlítása

1. táblázat

Robot mozgások	Valós robotmozgások mért ideje [sec]				Szimulációs robotmozgások mért ideje [sec]				A valós és a szimulált eredménye %-os eltérései			
	30%	50%	70%	100%	30%	50%	70%	100%	30%	50%	70%	100%
Sebesség [%]												
1-2 pontok között	11,91	12,53	13,69	15,88	11,90	12,52	13,68	15,87	0,08%	0,08%	0,07%	0,06%
2-3 pontok között	13,66	14,54	16,13	19,11	13,65	14,54	16,13	19,10	0,07%	0,00%	0,00%	0,05%
2-3-1-2 pontok között	25,90	27,52	30,50	36,10	25,89	27,51	30,49	36,09	0,04%	0,04%	0,03%	0,03%
2-2 pontok között	13,57	14,45	16,01	18,91	13,57	14,44	16,00	18,91	0,00%	0,07%	0,06%	0,00%
Csukló 1	1,60	1,93	2,60	3,93	1,60	1,93	2,60	3,93	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Csukló 2	1,60	1,93	2,60	3,93	1,60	1,93	2,60	3,93	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Csukló 3	1,60	1,93	2,60	3,93	1,60	1,93	2,60	3,93	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Csukló 4	1,60	1,93	2,60	3,93	1,60	1,93	2,60	3,93	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Csukló 5	1,60	1,93	2,60	3,93	1,60	1,93	2,60	3,93	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Csukló 6	1,60	1,93	2,60	3,94	1,60	1,93	2,60	3,93	0,00%	0,00%	0,00%	0,25%
P&P I.	9,46	10,92	13,67	19,17	9,42	10,88	13,63	19,11	0,42%	0,37%	0,29%	0,31%
P&P II.	9,53	11,61	15,79	24,16	9,45	11,53	15,69	24,02	0,84%	0,69%	0,63%	0,58%

A táblázat első négy sora az adott projekthez kapcsolódó mozgáspályák 2. ábra szerinti kitüntetett pontjai közötti mozgások időadatait tartalmazza. A 2-2 jelű mozgás a két mérőgép azonos magasságban fekvő munkatere közti mozgást jelenti. A robot csuklók számozása a bázistól kezdődik, a mozgáspálya itt az adott csukló 180°-os elfordulása volt. A P&P mozgások 780 mm hosszú lineáris pályán történő oda-vissza mozgást jelentenek a megfogó orientáció változtatása nélkül. Az I. esetben a két pont közötti mozgás csuklóinterpolációval, míg a II. esetben lineáris interpolációval valósult meg.

A mozgáspályák mindegyikét 4 különböző sebességgel tettük meg a maximális sebesség 30%, 50%, 75%, 100%-ával. Ezzel a motorok sebességtartományának mind a 4 percentiliséit megvizsgáltuk.

Az 1. táblázatból látszik, hogy az eltérések nem jelentősek. A szimulációból meghatározott ciklusidők nagyon pontosan követik a valóságokat. Az 1. táblázatban a legnagyobb eltérést az alternáló mozgásnál láthatjuk. A legtöbb eltérés értéke ezred másodperces nagyságrendbe esett, és inkább a mérési pontosságból adódott (szimuláció század-, amíg a valós controller ezred másodperc pontos). Az értékek kerekítésével ugyan némileg torzultak az eltérések, azonban az elvégzett mérésekből már kijelenthető, hogy a Process Simulate alkalmas volt robotmozgások ciklus idejének relatív pontos meghatározására.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérletből kiderült, hogy a vizsgált esetben a robotmozgás szimulációs eredményei a valós robotéhoz viszonyítva megfelelő pontosságúak. A kísérletekben csak elhanyagolható eltérést tudunk kimutatni azonos mozgások összehasonlításánál, az adott mérési pontosságon belül. Ebből levonható a következtetés, hogy gyártófüggetlen szimulációs rendszerek robotos gyártócellák előtervezésénél megfelelően használhatók, használatukkal a ciklusidők megfelelő pontossággal meghatározhatók, feltéve, hogy minden lényeges bemenő paramétert megfelelő pontossággal képesek vagyunk megadni és a rendszert megfelelően kalibrálni. A kapott eredmények felhasználhatók a magasabb szintű szimulációnál.

Azonban kiderült, hogy UR robotok esetén a szimulációs rendszer kódgenerálásra nem alkalmas, mivel beállási pontosságát terhelik a robotmodell geometriai pontatlanságai, a controllerspecifikus mozgásokból [9] és még a saját adattárolásából adódó kisebb hibák is. Esetünkben az eltérések UR5e robotnál nem annyira számottevők, hogy a ciklusidő pontosságát jelentősen befolyásolják. Továbbá meg kell jegyezni, hogy a kísérleteket az adott feladatra végeztük el, ahol a munkadarab tömege csak töredéke volt a robot teherbírásának. Jóval nagyobb tömegeknél, vagy a teherbírás felső határával terhelt robot esetében további vizsgálatok szükségesek a pontosság megállapításához.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen publikációban bemutatott eredmények részben a 2017-1.3.1-VKE-2017-00036 számú projektben, a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Versenyképességi és kiválósági együttműködések (VKE_17) pályázati program finanszírozásában valósultak meg, illetve az ITM NKFIA által nyújtott TKP2020 NKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján kerültek teljesítésre (projekt azonosító: TKP2020 BME-NKA).

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] R. E. Shannon: *Introduction to the Art and Science of Simulation*, in Proceedings of the 30th Conference on Winter Simulation, ser. WSC '98. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1998, pp. 7–14. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=293172.293175> (Utolsó letöltés: 2021.01.11)
- [2] Mike Rouman: *Tecnomatix 14 – What's New?* <https://blogs.sw.siemens.com/tecomatix/tecomatix-14-whats-new/#plant> (Utolsó letöltés: 2021. 01. 12.)
- [3] Radko Popovič, Marek Kliment, Peter Trebuňa, Miriam Pekarčíková: *SIMULATION AS A TOOL FOR PROCESS OPTIMIZATION OF LOGISTICS SYSTEMS*, Acta Logistica – International Scientific Journal about Logistics, pp. 1-5. http://actalogistica.eu/issues/2015/III_2015_01_Popovic_Kliment_Trebuna_Pekarcikova.pdf, (Utolsó letöltés: 2021. 03. 19.)
- [4] Enterprise Group PLM üzletág: *Process Simulate* <https://enterprise-group.hu/plm/robotexpert/process-simulate>, (Utolsó letöltés: 2021.03.19)
- [5] Danielsson, Fredrik, Philip Moore, és Patric Eriksson: *Validation, off-Line Programming and Optimisation of Industrial Control Logic*. Mechatronics 13, pp. 571–585. [https://doi.org/10.1016/S0957-4158\(02\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S0957-4158(02)00030-2). (Utolsó letöltés: 2021.03.19)
- [6] Oscar Johansson: *Testing and Evaluation of Virtual Commissioning*, pp. 1-28 <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/250398/250398.pdf>. (Utolsó letöltés: 2020. 12. 06.)
- [7] J. Zhang, V. Le, M. Johnston, S. Nahavandi, and D. Creighton: *Discrete Event Simulation Enabled High Level Emulation of a Distribution Centre*, in Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2012 UKSim 14th International Conference on, March 2012, pp. 470–475.
- [8] Universal Robots honlapja, <https://www.universal-robots.com/products/> (Utolsó letöltés: 2021.02.15.).
- [9] Bernhardt, Rolf, Gerhard Schreck, és Cornelius Willnow: *The Realistic Robot Simulation (RRS) Interface*. IFAC Proceedings Volumes, IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems 1994 (IMS'94), Vienna, Austria, pp. 321–324. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)46044-7](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)46044-7). (Utolsó letöltés: 2021.03.19.)