

Kollaboratív robotos szétszerelési környezet fejlesztése és tesztelése

Development and testing of a collaborative robotic disassembly environment

Csábi-Kis Henrik¹

¹HUN-REN SZTAKI, Budapest, Kende u. 13-17., <https://sztaki.hun-ren.hu/>, csabi-kis.henrik@sztaki.hun-ren.hu

Abstract

The aim of this paper was to develop a collaborative robotic disassembly environment using a UR10 robot. This is based on writing methods that perform the frequently repeated unscrewing and object manipulation operations. These were implemented so that the robot can perform them even in non-vertical orientations. They were tested with the full disassembly of a ball valve, and the partial disassembly of an old DVD player. The developed software is capable of performing a pre-programmed disassembly. The operator's assistance is required to fit the bit onto the screw, while unscrewing and simple movement of objects are done automatically. A custom program can be written to move parts that require more complex movement. The operator can enable or influence the robot's movement by touching it, enabling the implementation of parallel work between a human and the robot.

Keywords: collaborative robot, robotic disassembly, human-robot collaboration, industry 4.0

Kivonat

A tanulmány célja kollaboratív robotos szétszerelési környezet kifejlesztése UR10 robothoz. Ennek alapja a gyakran ismételt kicsavarozás és tárgymozgatás műveleteket megvalósító metódusok írása. Biztosítottam, hogy ezek a műveletek a függőlegestől nagy mértékben eltérő orientációban is biztonságosan működjenek. A funkciókat egy gömbcsap teljes, valamint egy elhasznált DVD lejátszó részleges szétszerelésével teszteltem. A kifejlesztett program képes egy előre megírt szétszerelés végrehajtására. A bit csavarra illesztéséhez az operátor segítsége szükséges, a kicsavarozás és a tárgyak egyszerű mozgatása automatikusan történik. A komplexebb mozgatást igénylő alkatrészek mozgatásához egyedi program írható. Az operátor érintéssel engedélyezheti vagy befolyásolhatja a robot mozgását, így ember és robot párhuzamos munkája is kivitelezhető.

Kulcsszavak: kollaboratív robot, robotizált szétszerelés, ember-robot kollaboráció, ipar 4.0

1. BEVEZETÉS

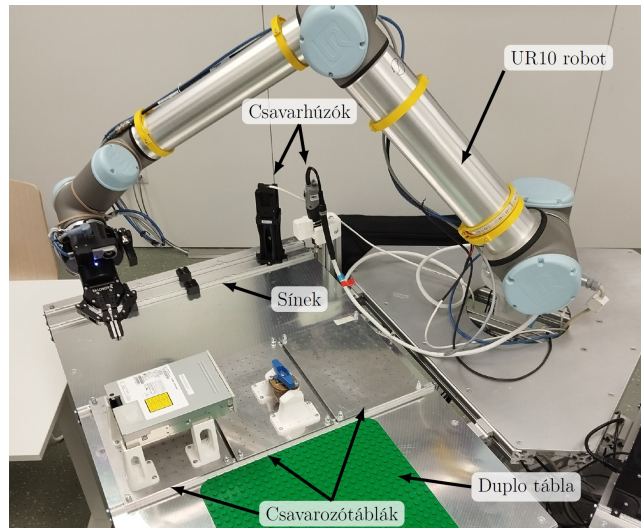
Az automatizáció elterjedésével komplex és nagy volumenű gyártási folyamatok váltak lehetővé, ugyanakkor a termékek újrahasznosítása, javítása, újragyártása még mindig jelentős manuális beavatkozást igényel. Különösen a szétszerelési folyamatok automatizálása jelent kihívást a termékek sokfélesége, deformálódása és a környezeti bizonytalanságok miatt. [1]

A robotizált szétszerelési technológiák már az 1990-es évek óta fejlődnek, ekkor jelentek meg az első ipari szétszerelőrobotok. [2] Az automatizált szétszerelés azonban még napjainkban is korlátozott terjedésű, főként az elektronikai iparban található példák, ahol homogén termékek viszonylag könnyen kezelhetők automatizált rendszerekkel. [3, 4, 5] A szétszerelési folyamat még mindig jelentős emberi erőforrást igényel, ezért a robotok bevonása ígéretes megoldás lehet.

A kollaboratív robotok (kobotok) olyan robotok, amelyeket emberekkel való közvetlen együttműködésre terveztek, ezért biztonsági funkcióik és kisebb méretük révén alkalmasak arra, hogy emberrel megosztva végezzék a feladatokat. [6] Ezek a robotok képesek lehetnek csökkenteni az automatizáció korlátait a szétszerelés területén, mivel az ember-robot kollaboráció során kombinálható az emberi rugalmasság és döntéshozatal a robotok precizitásával és hatékonyságával.

Dolgozatom célja, egy olyan kollaboratív robotos szétszerelő környezetet kifejlesztése, amely képes egy előre megírt szétszerelőprogram végrehajtására. Ehhez alapvető szétszerelési műveleteket implementáltam, fókuszálva a kicsavarozásra és egyszerűbb mozgásokra, valamint vizsgálom az ember-robot együttműködés lehetőségeit.

A rendszert a HUN-REN SZTAKI 1. ábrán látható UR10 robotjához fejleszttem, amely Robotiq FT-300 erőmérővel és 2F-85 megfogóval van felszerelve. A robot programozásához a SZTAKI egyedi fejlesztésű URMover szoftverét használom, amely lehetővé teszi a robot alapvető vezérlését, mozgását, pozíciók kezelését és erőszabályozást.



1. ábra. A robot munkatere

2. ALAPFUNKCIÓK IMPLEMENTÁLÁSA

2.1. Pozíciómegadás

A robot programozásához koordináta-rendszert illesztettem a Duplo- és csavarozótáblákra, mivel szinte mindent ezeken helyezek el. Ezek origóját és X, Y tengelyeiket jellemző pontokat a robot mozgásával betanítottam így gyorsan számíthatók bázisvektorok. Ezután pontosan és gyorsan megadható a programnak egy táblán elhelyezett tárgy pozíciója, hiszen a táblák rácspontjai kiváló fizikai referenciát biztosítanak.

2.2. Kicsavarozás

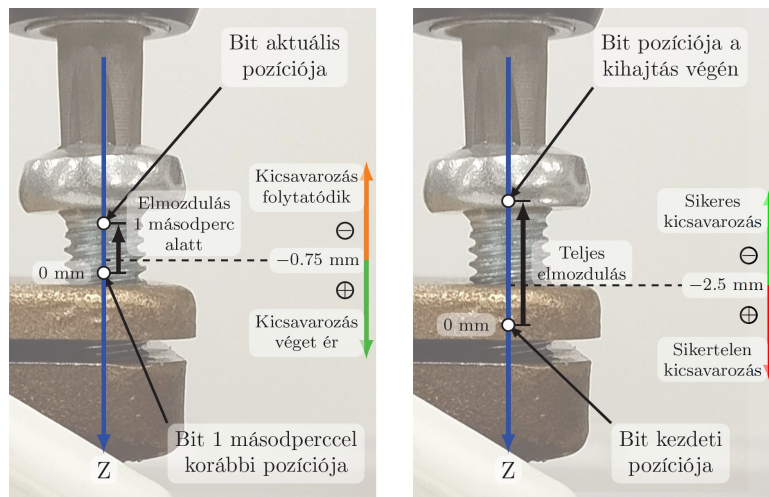
A csavarok kicsavarozásához először egy régebbi motoros csavarhúzó (5. ábra) állt a rendelkezésemre, melyet a robot a megfogójába tud fogni. A csavarhúzó excentrikus forgása és lötyögése megnehezítették a kicsavarozást.

A sikeres kicsavarozás megvalósítása egy sok tesztelést igénylő, hosszas folyamat volt, melynek vég-eredménye egy több részműveletből álló program, melyet PH típusú bitekhez fejlesztettem ki. A bitet a robot erővisszacsatolás segítségével a csavarra illeszti. Ezután spirálmozgással keresi meg a csavarfej hornyait, és addig újra próbálkozik, amíg az operátor jóvá nem hagyja a sikeres illesztést. Az operátor visszajelzése a robot külső érintésével történik, melyet az érzékel. A bitet nyomaték mérésével állítja a megfelelő orientációba, a csavar kihajtás során pedig erőszabályozással biztosítja a bit folyamatos csavaron tartását. A kicsavarozás végét és sikerességét mért elmozdulások alapján, a 2. ábrán látható módon észleli.

Metódusokat írtam a tárgyak mozgására, amelyeknél paraméterekkel definiálható a robot mozgása. A tárgy pozíciója mellett megadható, hogy milyen irányból és távolságból közelítse meg, és távolodjon el a tárgytól a robot, így könnyen elkerülhető az ütközés.

3. GÖMBCSAP SZÉTSZERELÉSE

Ezeket a funkciókat egy gömbcsap kollaboratív szétszerelésével teszteltem, melynek és majdnem minden alkatrésze a robot által megfogható mérettartományba esik, és az összes alkatrésze eltávolítható felülről. A gömbcsapnak a 3. ábrán látható 3D nyomtatott tartót terveztem, amely szétszerelés során az asztalhoz rögzíti. A csavarok és alkatrészek pozíciójának megadása után a megírt módszerrel a robot képes kicsavarni a csavarokat, melyeket az operátor távolít el a robot munkatéréből. A megírt mozgást végző metódusokkal könnyen kiszerelhetők az egyenes vonalú mozgással elmozdítható alkatrészek, komplexebb mozgás szükségessége esetén pedig az egyedileg megírható. Ilyen például a tömítések miatt letapadó golyó, amelyet oldalirányba oda-vissza

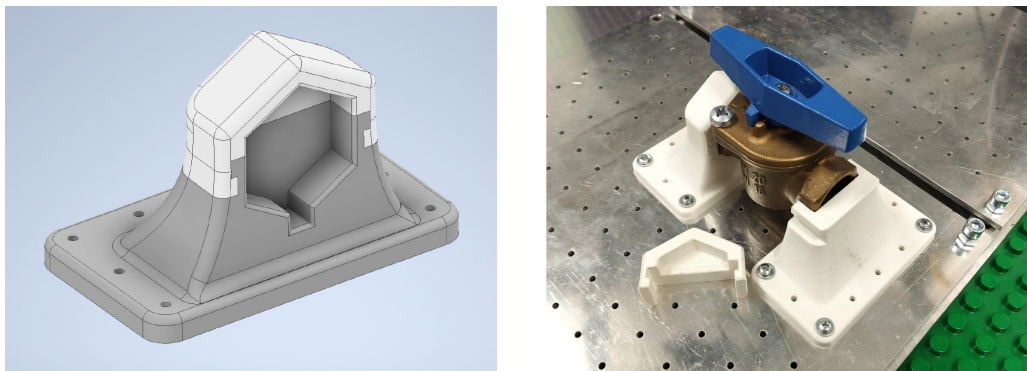


2. ábra. A kicsavarozás végének (balra) és sikerességének (jobbra) észlelése

mozgás mellett tud kihúzni a robot. A megfogóval nem megfogható tömítéseket az operátor távolítja el, a robot az ő visszajelzése után folytatja a munkát.

Az alábbi linken megtekinthető egy rövid videó a gömbcsap szétszereléséről:

<https://www.youtube.com/watch?v=xLbyRg2nJJU>



3. ábra. A gömbcsap tartójának CAD modellje és a kinyomtatott darab a gömbcsappal

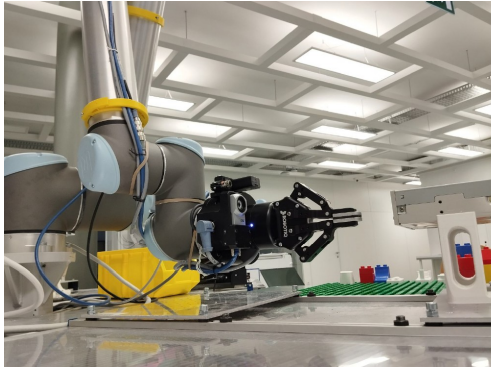
4. TOVÁBBFEJLESZTÉS

4.1. Konfigurációváltás

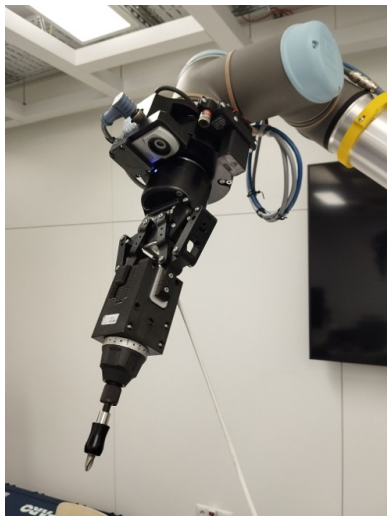
Ahhoz, hogy a megvalósított műveletek a függőlegestől nagy mértékben eltérő orientációban is biztonságosan működjenek, biztosítanom kellett, hogy a megfogó oldalra fordítása esetén a robot a lehető legkisebb ütközésveszéllyel járó konfigurációban érkezen meg a megadott pozícióba (4. ábra). Ehhez a konfigurációkat a megfogó iránya alapján különböztetem meg. A használt konfigurációkra jellemző csuklópozíciókat tároltam el, mozgáskor a célpozíció iránya alapján a program ezek közül választja ki a legmegfelelőbbet. Ezt a kiválasztott csuklópozíciót referenciaként használja a robotvezérlő inverz kinematika függvénye, és egy ehhez közeli csuklópozíciót ad vissza, amelybe bemozgatható a robot.

4.2. Új csavarhúzó

A kicsavarozás megkönnyítéséhez beüzemelésre került egy új csavarhúzó (5. ábra), amely kompaktabb, nagyobb nyomaték kifejtésére képes, kevésbé lötyög, viszont ferdén tudja csak megfogni a robot. A kicsavarozást végző programrészeket módosítottam, hogy ezt az eltérő orientációt is képes legyen kezelni.



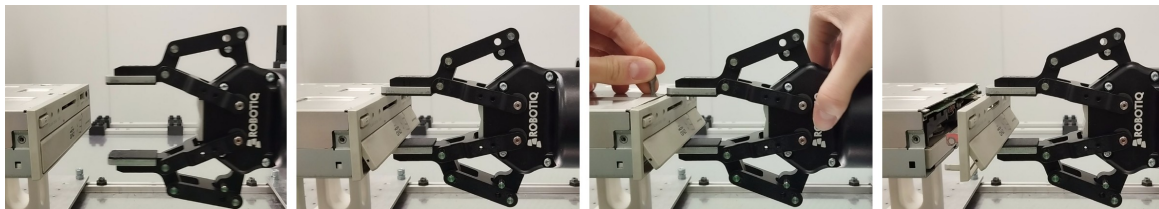
4. ábra. Egy elérni kívánt pozíció megfelelő konfigurációban (balra), és megközelítve ütközésveszélyes konfigurációban (jobbra)



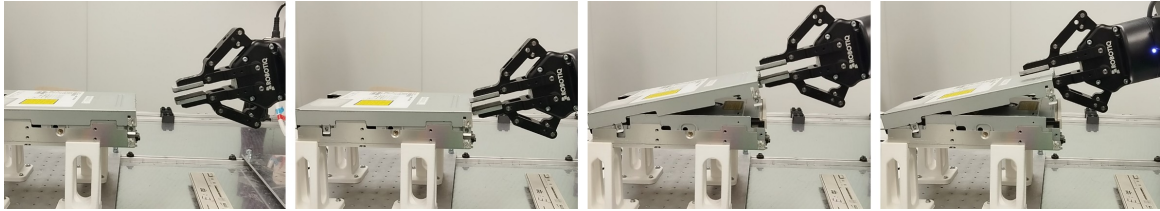
5. ábra. A régebbi (balra), és az újabb csavarhúzó (jobbra)

5. DVD LEJÁTSZÓ RÉSZLEGES SZÉTSZERELÉSE

A teljes utasításkészletet egy elhasznált DVD lejátszó részleges szétszerelésével teszteltem, melyhez szintén terveztem egy 3D nyomtatott tartót. A robot az új csavarhúzóval kis csavarok kicsavarozására is képes volt, akár vízszintes irányban is. Az előlap leszereléséhez a 6. ábrán látható szorosabb ember-robot kollaborációra volt szükség, az operátornak kioldva kell tartania egy bepattanó kötést, miközben a robot eltávolítja az alkatrészt. A lapos lemezalkatrészek megfogása robottal a 7. ábrán látható mozdulatsorral volt lehetséges.



6. ábra. Az előlap leszerelése ember-robot kollaborációval



7. ábra. A lapos alkatrészek felemelése

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kifejlesztett program képes egy előre megírt szétszerelés végrehajtására. A bit csavarra illesztéséhez az operátor segítsége szükséges, a kicsavarozás és a tárgyak egyszerű mozgatása automatikusan történik. A komplexebb mozgatást igénylő alkatrészek mozgatásához egyedi program írható. Az operátor érintéssel engedélyezheti vagy befolyásolhatja a robot mozgását, így ember és robot párhuzamos munkája is kivitelezhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a SZTAKI az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Yuanjun Laili –Yongjing Wang – Yilin Fang – Duc Truong Pham: Robotic Disassembly for Remanufacturing. Cham, 2022, Springer International Publishing, 7–25. p. ISBN 978-3-030-81799-2.
- [2] Swapnil Patil – V. Vasu – K. V. S. Srinadh: Advances and perspectives in collaborative robotics: a review of key technologies and emerging trends. Discover Mechanical Engineering, 2. évf. (2023) 1. sz., 13. p. ISSN 2731-6564. URL <https://doi.org/10.1007/s44245-023-00021-8>.
- [3] Robert Bogue: Robots in recycling and disassembly. Industrial Robot: the international journal of robotics research and application, ahead-of-print. évf. (2019. 07).
- [4] P. Kopacek – B. Kopacek: Intelligent, flexible disassembly. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 30. évf. (2006) 5. sz., 554–560. p. ISSN 1433-3015. URL <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0042-9>.
- [5] J.R. Dufflou – G. Seliger – S. Kara – Y. Umeda – A. Ometto – B. Willems: Efficiency and feasibility of product disassembly: A case-based study. CIRP Annals, 57. évf. (2008) 2. sz., 583–600. p. ISSN 0007-8506. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850608001911>.
- [6] Bernd Scholz-Reiter – Heiko Scharke – Alfred Hucht: Flexible robot-based disassembly cell for obsolete tv-sets and monitors. Robotics and Computer-integrated Manufacturing, 15. évf. (1999), 247–255. p. URL <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:109507487>.