

Univerzális mechanikus megfogó vizsgálata optikai elven működő erőmérő használatával

Universal mechanical gripper testing with optical force measuring sensors

NAGY Attila Tamás¹, Dr. PANITI Imre^{1,2}

¹ SZTAKI, 1111 Budapest, Kende u. 13-17., tel. +36 1 279 6000, fax +36 1 466 7503,
nagy.attila.tamas@sztaki.hu, imre.paniti@sztaki.hu www.sztaki.hu

² Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont, H-9026 Győr, Egyetem tér 1.;
Telefon: +36 96 613 680; jkk.sze.hu

Kivonat

Az ipar automatizálás következtében a robotok és megfogóiknak használata egyre elterjedtebb a gyártásban. Egy másik trend a szabad felületű árucikkek térhódítása, ami magával vonja a robotmegfogók fejlesztését is. A cikk egy továbbfejlesztett univerzális megfogót mutat be, annak teljesítményének javítása érdekében. Párhuzamos megfogókkal való összehasonlításra is sor kerül NIST mérések alapján, egy újonnan kifejlesztett erőmérővel.

Kulcsszavak: ipari automatizáció, robot megfogó, megfogó tesztelés, benchmark

Abstract

Due to the automation of industry the usage of robots and robotic end effectors in manufacturing is increasing. Another trend is the sculpture like surfaces on goods thus needing robotic grippers to handle such goods. The article presents a further developed type of a universal gripper in order to improve its performance. It was tested against parallel grippers in performance according NIST measurements using a newly developed force measuring sensor.

1. BEVEZETÉS

1.1 Ipari megfogók és kihívások

Az ipari automatizáció jegyében és az Ipar 4.0-ra történő készülés érdekében a robotos alkalmazások egyre nagyobb teret hódítanak, ugyanakkor egyre újabb megoldandó kihívásokkal is járnak. A mai elvárásoknak megfelelően nagyon sok új anyag és gyártástechnológia mellett a design az eladhatóság egyik kulcs fontosságú összetevője. Ebből kifolyólag az új termékek nagyon gyakran matematikailag bonyolult felületekkel tervezik őket. Ez olyan szempontból okoz gondot, hogy ha egy általánosabb megfogót alkalmaznak a manipulációra, akkor az kvázi pontszerűen érintkezik (amennyiben a tervező nem hagyott kimondottan a megfogáshoz párhuzamos felületeket), amikor is a nagyobb erő kifejtés, ami az alkatrész megfogásához kell, kárt okozhat a felületben, vagy rosszabb esetben tönkre teheti az alkatrészt, ill. terméket. A másik végtel, hogy teljesen egyedi megfogót készítenek, amely azt a munkadarabot a felület mentén teljesen leköveti, ugyanakkor az ilyeneknek plusz költsége van és az átállást jelentősen megnehezíti. Éppen ezért egyre újabb megoldásokkal állnak elő a mérnökök, hogy az univerzális megfogók a legkülönbözőbb felületekkel rendelkező alkatrészeket is nagy biztonsággal és könnyedséggel tudják manipulálni.

A hagyományosnak tekinthető ujjas, pneumatikus szívókás és mágneses megfogók mellett manapság a soft-robotics területén megjelenő adaptív megfogók is egyre nagyobb teret nyernek. Nagyon ígéretes innovatív ötleteken alapuló az elasztikus borítású pneumatikusan vezérelt adaptív megfogó [1], granulátumos anyag összenyomásával operáló megfogók [2],[5], elasztikus anyagú mechanikusan működő megfogó [3], [5], illetve a gekko láb adhéziós tulajdonságait utánzó megfogó [4].

1.2 Omnigripper és ahhoz hasonló megfogók

1985-ben bemutatott Omnigripper [6] Scott ötlete alapján készítették el. Az alap elve a megfogó működésének, hogy a munkadarab felülete mentén a csoportban lévő csapok közül azok, amelyek érintkeznek a munkadarabral benyomódnak. A többi csap ilyen módon a munkadarab kontúrja mentén körbe véve tud a teljes kontúr mentén kontaktot kialakítani, illetve a pneumatikus aktuátorokon keresztül két klaszterben található csap mátrixot összenyomni. Így mivel nagyobb felületen képes a kontaktkialakításra, a megfogáshoz szükséges erő is nagyobb felületen tud eloszlni. A legnagyobb előnye a szerkezetnek, hogy a munkadarab kontúrjától, illetve felületének alakjától függetlenül képes megfogni tárgyakat. Több tárgy megfogására is képes egyszerre anélkül, hogy plusz alkatrészeket, vagy kiegészítő alkatrészekre lenne szükség. Az egyes csapokban szenzorokat kell elhelyezni, amennyiben a tárgyak orientációjáról is szeretnénk visszajelzést kapni. Ugyanakkor a klaszterekben elhelyezett csap mátrixok miatt csak egy meghatározott sávban képes a tárgyak megfogására, valamint hengeres alkatrészek esetében a csapok nyomás alatti enyhe deformálódása, akadályozza az elengedést.

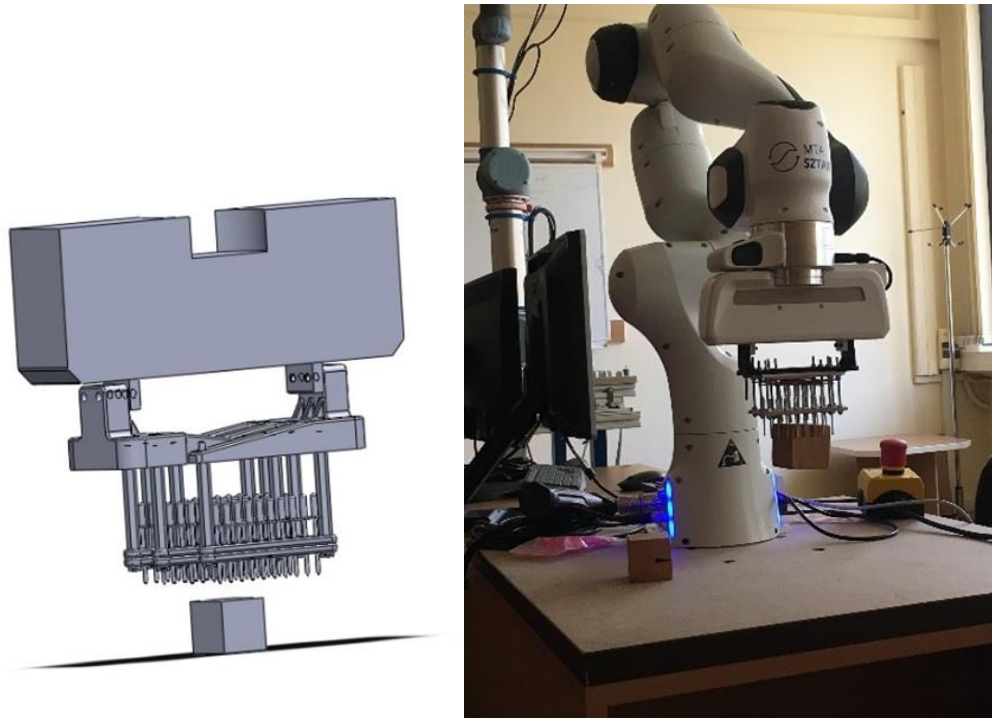
Később újabb megfogókat terveztek Fu és munkatársai [8], valamint Mo és Zhang [7], hogy ezt az eredeti konstrukciót tovább fejlesszék. Az egyik út, hogy csoportban lévő csapok helyett koncentrikus körökben elhelyezett csapok fognak rá a munkadarabra. Itt a két tervezett megfogó között a ráfogási mozgásban találunk különbséget. Az egyik esetben egy motor és több szíj segítségével az összes koncentrikus körben elhelyezett csapokat tudja mozgatni, egymáshoz képest ellentétes irányba is hogy ez által képes legyen a tárgyra ráfogni. [7] A másik esetben a csapokat radiálisan mozgatva fogja körbe a manipulálni kívánt tárgyat. [8]

Egy másik út szintén Mo és Zhang fejlesztése [10], hogy a csapok nem tökéletes kör alakúak, hanem oválisak. Ezáltal az egyes csapok elforgatása következtében a közrefogott munkadarab kontúrjával a kontaktot ki tudják ezek a csapok is alakítani. Kísérleteztek továbbá a rugókra szerelt elhajlásra képes csapos kialakításával is [9], amelyek több rétegben vannak elhelyezve, és mozognak egymáshoz képest. Ezek a megfogók mind igyekeznek a kontakt kialakítás módjával, a megfogási terület növelésével, valamint a csapok adaptív tulajdonságainak kiterjesztésével javítani a konstrukciót.

2. A TOVÁBBFEJLESZTETT MEGFOGÓ

A tervezett megfogó esetében (1. ábra) a cél az volt, hogy meglévő párhuzamos lineáris megfogókra adaptálható, tisztán mechanikus úton működő további külső meghajtást nem igénylő megfogó szerkezetet készítsünk. Ennek a szerkezetnek a korábban leírtakhoz hasonlóan egy Scott féle Omnigripper [6] adta az alap ötletet. A klaszterben elhelyezett csapok helyett „fésűs” szerkezettel valósul meg a megfogás. Ennek az előnye, hogy ameddig a céltárgy a megfogón belül van, akkor a kialakításból fakadóan lesznek csapok, amelyek megfogási felületet biztosítanak. Eltér a megfogó szerkezet az Omnigripper-től abban a tekintetben, hogy az eredetiben a csapokban szenzorokat helyeztek el a munkadarab detektálása érdekében, amit ebből a szerkezetből teljesen kihagytunk, hogy ténylegesen robottól, valamint környezettől függetlenül lehessen alkalmazni.

A tervezés során a rendelkezésre álló gyártástechnológiákat figyelembe vettük annak érdekében, hogy minél hamarabb prototípusokat tudjunk előállítani. Ez első sorban 3D nyomtatást, illetve CNC alumínium marást jelentett. A többi esetben kereskedelmi forgalomban beszerezhető szabványos alkatrészeket használtunk. Csapokként popszegecseket alkalmaztunk, amelyeket a lehető legsűrűbb kiosztásban, a gyártástechnológia korlátait figyelembe véve, használtunk. Ennek a végére a munkadarabok védelmének érdekében csapágy golyókat rögzítettünk zsugorcsovek segítségével. Végezetül a visszatérítést egy teljes pneumatikus rendszer alkalmazása helyett kísérleteztünk rugós, illetve csak megvezetéses gravitáció által végzett visszatérítéssel. A tesztek során a gravitációs visszatérítést alkalmaztuk annak érdekében, hogy a munkadarabokra kifejtett, a csapok benyomódásához szükséges erőt csökkentsük.



1. ábra Tervezett megfogó CAD modellje (balra) és az elkészült prototípus (jobbra)

3. MÉRÉSEK

3.1 Mérések megvalósításának kihívásai

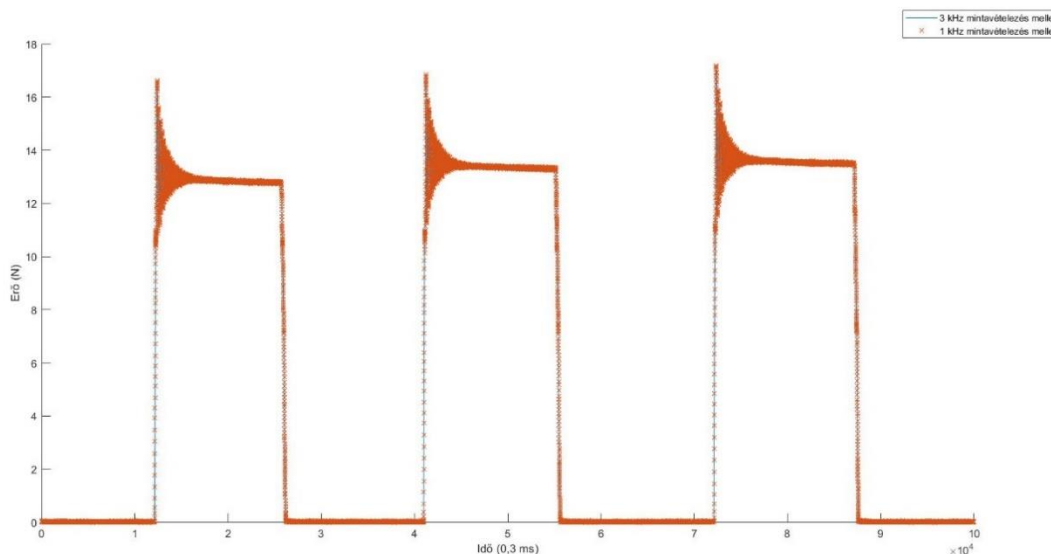
Jelenleg nincsenek a megfogók működését és tesztelését szolgáló általános vizsgálatok. Ennek a legfőbb oka, hogy a megfogó szerkezetek különbözőek, és gyakran a működés elvétől, vezérléstől vagy az aktuátoroktól függenek a működési képességei. A másik indok, hogy nagyon nehéz olyan tesztekhez eszközöket, illetve feladatokat kitalálni, amelyek összességében lefedik a robotos alkalmazásokat. Ennek megfelelően a különböző kutatásokban az éppen ott fejlesztett megfogóhoz igazítva csináltak vizsgálatokat [11], [12]. Napjainkban az egyik ilyen kezdeményezés a Yale-CMU-Berkeley egyetemek által javasolt tesztek, amik egyre szélesebb körben terjednek [13], [14].

A jelenlegi kutatásban a National Institute of Standards and Technology (NIST) által készített első megjelent változat által javasolt tesztek [15] közül használtuk az ujj erő, megfogási erő és megfogási ciklusidő mérést. Ezek a kísérletek alapvetően ujjas megfogókhoz készültek, azonban pontos definíciókkal, mérés leírással és kiértékeléssel dolgozik. Sajnos ezeket az előírásokat nem lehetett teljesen követni, mert a szenzorhoz gyárilag bekötött adatgyűjtő az eredeti 3 kHz-es mintavételezés helyett csak 1 kHz-es mintavételezésre volt képes, ugyanakkor a vizsgálatok azt mutatták, hogy a mérések 1kHz-en is megfelelően kivitelezhetőek (2. ábra). Az összehasonlításból az derült ki, hogy a mintavételezési idő változtatásával az elvesztett információ nem ronsolja annyira a jelet, hogy ne lehetne rekonstruálni. A másik változtatás, hogy a javasolt erőmérő cellák és mérő hengerek helyett a munkadarabra szerelt optikai erőmérő szenzorokkal végeztük el [16].

3.2 Optoforce szenzor

A kísérletek során az Optoforce Kft. (ma már OnRobots [17] céggyejesülésben) által fejlesztett erőmérő szenzorokat alkalmaztuk. Ezeknek az a különlegessége, hogy a leggyakrabban használt elmozduláson vagy deformáción alapuló erőmérő technológiák helyett egy teljesen új optikai elvű szenzort fejlesztettek. [18] Ugyanettől a cégtől ugyanezen az elven működő szenzorokat korábban is használtak már megfogókkal kapcsolatos mérésekhez [19], [20]. A szenzor egy fotodióda, amely egy led fényét méri, amely egy fotó reflektív anyaggal ellátott elasztikus félgömbbe van implementálva. A mérés folyamata, hogy az erőhatásra az elasztikus félgömb deformálódik, ami következtében a belsejében lévő led fénye másképpen verődik vissza. Ez az elváltozás a fotodiódában a vezetőképesség megváltozásával mérhető. A szenzor gyárilag adatgyűjtővel és a kezeléséhez szoftverrel kapható,

melyek a mérések eredményeit adatfájlokba gyűjtik. Az adatok kiértékelése MATLAB szoftverben készült scripttel történt, amely az egyes irányokban mért erőhatásokat összegezi, valamint az egyes szakaszokat a környezeti összehasonlítások alapján státusz jelzőkel látja el a ciklusidő számítás megkönnyítéséhez.



2. -ábra A 3 kHz és az 1 kHz-es mintavételezés összehasonlítása

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A méréseket az NIST által javasolt mérések [15] alapján állítottunk össze. A vizsgálat során az NIST által közzétett mérési adatokat használtuk, valamint a rendelkezésre álló UR5-ös [22] és Franka Emika Panda [22] kobotot, RobotIQ 2F-85F megfogóval az UR [21] illetve a saját gyári megfogójával a Panda roboton A tesztek során fa 40x40x40 mm kockára, illetve műanyag 25x30x30 mm hasábra szereltük az Optoforce szenzorokat. A két féle teszt munkadarabra azért volt szükség, mert a nagyobb teszt darab a felszerelt szenzorokkal a fejlesztett megfogó által befogni képes mélységnél nagyobb volt. Így azoknál a megfogási tesztekénél, ahol nem csupán a szenzorral kellett kapcsolatot kialakítani, hanem az egész munkadarabbal, szükségessé tette egy kisebb munkadarab használatát. Ezeket az elmozdulás ellen satuba rögzítettük. Egy tesztsorozat alatt a robotnak 30 megfogást kellett elvégeznie a mérési céltól függően késleltetett, vagy késleltetés nélküli programmal.

A vizsgálatok eredményéből látható, hogy mind a két esetben az új megfogó gyorsabban tudott ráfogni a tárgyra, ugyanakkor az átvitt erő drasztikusan kisebb, mint a párhuzamos megfogóknál. Ez magyarázható azzal, hogy a csapos megfogónak sokkal kisebb távolságot kellett megtennie az összezáráshoz, mint a gyári párhuzamos megfogóknak, viszont a szegecsek, amelyeket csapokként alkalmaztunk nem a legmegfelelőbbek az erő átvitelére. Ezen kívül a kezdeti vizsgálatokból az is kiderült, hogy a „fésűs” szerkezet jellegéből következően olyan járulékos nyomatékok alakulhatnak ki, amelyek a működés szempontjából nem ideálisak.

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

A mérésekből látható, hogy az új univerzális megfogó készülék a hagyományos párhuzamos megfogókhoz képest 66%-kal kevesebb idő alatt végezte a megfogásokat, ugyanakkor az átvihető erő a 25%-ára csökkent. Mindezekből azt a következtetést vontuk le, hogy a működési elve a megfogónak jól működik és használható. A továbbiakban a szerkezet továbbfejlesztése a cél, hogy az átvihető erő növekedjen, illetve a járulékos nyomaték csökkenjen.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatást részben az Európai Unió H2020-as EPIC (www.centre-epic.eu/) (No. 739592) és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal INEXT Kutatások az ipari digitalizáció

által nyújtott potenciál minőségi kiaknázására (inext.science) (ED_18-22018-0006) projektjei támogatták. Paniti Imre 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] HAO, Yufei, Zheyuan GONG, Zhexin XIE, Shaoya GUAN, Xingbang YANG, Ziyu REN, Tianmiao WANG a Li WEN. Universal soft pneumatic robotic gripper with variable effective length.: 2016 35th Chinese Control Conference Chengdu, China:
- [2] AMEND, John R., Eric BROWN, Nicholas RODENBERG, Heinrich M. JAEGER a Hod LIPSON. A Positive Pressure Universal Gripper Based on the Jamming of Granular Material. *IEEE Transactions on Robotics*. 2012, 28(2), 341–350.
- [3] BASSON, Christian Ivan, Glen BRIGHT a Anthony John WALKER. TESTING FLEXIBLE GRIPPERS FOR GEOMETRIC AND SURFACE GRASPING CONFORMITY IN RECONFIGURABLE ASSEMBLY SYSTEMS. *South African Journal of Industrial Engineering* 2018
- [4] HAWKES, Elliot W., David L. CHRISTENSEN, AMY KYUNGWON HAN, Hao JIANG a Mark R. CUTKOSKY. Grasping without squeezing: Shear adhesion gripper with fibrillar thin film. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Seattle, WA, USA: IEEE, 2015, s. 2305–2312.
- [5] FESTO adaptív megfogók, https://www.festo.com/cat/hu_hu/products_DHEB, https://www.festo.com/cat/hu_hu/products_DHAS
- [6] SCOTT, Peter B. The ‘Omnigripper’: a form of robot universal gripper. *Robotica* 1985, 3(3), 153–158.
- [7] MO, An a Wenzeng ZHANG. A universal robot gripper based on concentric arrays of rotating pins. *Science China Information Sciences* 2019, 62(5), 50214
- [8] FU, Hong, Haokun YANG, Weishu SONG a Wenzeng ZHANG. A novel cluster-tube self-adaptive robot hand. *Robotics and Biomimetics*. 2017, 4(1), 25.
- [9] MO, An, Hong FU a Wenzeng ZHANG. A Universal Gripper Base on Pivoted Pin Array with Chasing Tip. In: Zhiyong CHEN, Alexandre MENDES, Yamin YAN a Shifeng CHEN, ed. *Intelligent Robotics and Applications Cham: Springer International Publishing*, 2018, s. 100–111
- [10] MO, An a Wenzeng ZHANG. Pin array hand: A universal robot gripper with pins of ellipse contour. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). Macau s. 2075–2080
- [11] ZUBRYCKI, Igor a Grzegorz GRANOSIK. Test setup for multi-finger gripper control based on robot operating system (ROS). 9th International Workshop on Robot Motion and Control . Kuslin, Poland: IEEE, 2013, s. 135–140.
- [12] BASSON, Christian Ivan, Glen BRIGHT a Anthony John WALKER. TESTING FLEXIBLE GRIPPERS FOR GEOMETRIC AND SURFACE GRASPING CONFORMITY IN RECONFIGURABLE ASSEMBLY SYSTEMS. *South African Journal of Industrial Engineering* 2018.
- [13] CALLI, Berk, Arjun SINGH, Aaron WALSMAN, Siddhartha SRINIVASA, Pieter ABBEEL a Aaron M. DOLLAR. The YCB object and Model set: Towards common benchmarks for manipulation research. 2015 International Conference on Advanced Robotics (ICAR). Istanbul, Turkey: IEEE, 2015, s. 510–517.
- [14] CALLI, Berk, Aaron WALSMAN, Arjun SINGH, Siddhartha SRINIVASA, Pieter ABBEEL a Aaron M. DOLLAR. Benchmarking in Manipulation Research: Using the Yale-CMU-Berkeley Object and Model Set. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 2015, 22(3), 36–52
- [15] FALCO, Joe, Karl VAN WYK a Elena MESSINA. Performance Metrics and Test Methods for Robotic Hands 2018
- [16] Optoforce OMD-20-SE-40N adatlap, https://www.g4.com.tw/userfiles/files/Datasheet/onrobot_3d_force_sensor_omd_20_se_40n.pdf
- [17] OnRobot Kft. <https://onrobot.com/hu>
- [18] 6 tengelyű erőmérő szenzor fejlesztése <https://www.slideshare.net/KnowledgeToMoney/optoforce-6-tengely-ermr-szenzor-fejlesztse>
- [19] IGLESIAS, José. A force control based strategy for extrinsic in-hand object manipulation through prehensile-pushing primitives. 69.
- [20] COSTANZO, Marco, Giuseppe DE MARIA, Ciro NATALE a Salvatore PIROZZI. Design and Calibration of a Force/Tactile Sensor for Dexterous Manipulation. *Sensors* 2019
- [21] RobotIQ 2F-85 gripper, <https://robotiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-gripper>
- [22] FERRAGUTI, Federica, Andrea PERTOSA, Cristian SECCHI, Cesare FANTUZZI a Marcello BONFE. A Methodology for Comparative Analysis of Collaborative Robots for Industry 4.0. *2019 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition*. Florence, Italy: IEEE, 2019, s. 1070–1075