

KOLABOTATÍVNY ROBOT — ABB YuMi - IRB 14000

Peter Janus

Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology
Institute of Automation and Computer Science
Technická 2896/2, Brno 616 69, Czech Republic
208682@vutbr.cz

Abstrakt: Semestrálna práca sa zaoberá kolaboratívnymi robotmi a bližšie popisuje kolaboratívneho robota YuMi - IRB 14000 od spoločnosti ABB. V ďalšej časti práce je popísané praktické využitie robota YuMi a to v rôznych odvetviach robotiky.

Kľúčové slová: priemyselná robotika, kolaboratívny robot, priemyselný robot, aplikácia kolaboratívnych robotov, robot ABB YuMi - IRB 1400

1 Úvod

V posledných desaťročiach sa výrazne zvýšilo využívanie automatizácie v moderných výrobných spoločnostiach. Automatizované zariadenia, ako sú napríklad priemyselné roboty, sú často zahrňované vo výrobných systémoch. Pri porovnaní celosvetového predaja robotov v roku 2010 a v roku 2017, bol zaznamenaný nárast o 217%. Tento rast je poháňaný najmä automobilovým a elektronickým priemyslom, kde sa roboty využívajú hlavne na montážnych linkách. Vo väčšine prípadov ide o priemyselné roboty, ktoré dokážu pracovať rýchlo a spoľahlivo. Avšak, hromadná výroba si vyžaduje flexibilitu a možnosť prerobiť či upraviť výrobnú linku [1].

Riešenie musí byť ľahko prenosné a znovu nasaditeľné, ale taktiež schopné zapadnúť do už existujúcich pracovných priestorov, ktoré sú častokrát určené pre ľudí. Musí využívať inovatívne metódy programovania, ktoré sú tak intuitívne na používanie, že ovládanie zvládne každý pracovník bez špeciálneho školenia. Musí mať zmyslové a motorické ovládanie na princípe toho ľudského. Predovšetkým musí byť dostatočne bezpečné pre prácu bok po boku s ľudským spolupracovníkom. Práve kolaboratívne roboty sú riešením a evolúciou priemyselnej robotiky, ktoré dokážu zvýšiť bezpečnosť a skombinovať jedinečné schopnosti ľudí s presnosťou a spoľahlivosťou robotov. Táto práca sa zaoberá kolaboratívnymi robotmi, charakterizuje ich prínos a význam v dnešnej robotike a priblíži dvojramenného kolaboratívneho robota ABB YuMi – IRB 14000 [2, 3].



Obr. 1: Výrobná linka tvorená kolaboratívnymi robotmi

2 Kolaboratívne roboty

Ako už bolo spomenuté v úvode, priemyselná kolaboratívna robotika je jednou z najslubnejších technológií Industry 4.0. Najmä spolupráca človeka a robota pri montáži, ktorá otvára nové možnosti a výzvy, bude obzvlášť dôležitá. Najväčší problém súvisí s bezpečnosťou. Nechcené a neočakávané kontakty medzi človekom a robotickým systémom môžu spôsobiť zranenia, a tým obmedziť potenciál spolupráce. Procesy na manuálnych montážnych linkách sa na prvý pohľad môžu zdať jednoduché na automatizáciu, no v skutočnosti je veľmi náročné replikovať ľudské schopnosti. Ľudia disponujú dotykovým a motorickým ovládaním, ktoré nám umožňuje precízne a obratne manipulovať s jemnými vecami. Taktiež sme schopní posúdiť akou silou máme pôsobiť na daný objekt aby sme ho nepoškodili. Ďalšou dôležitou ľudskou vlastnosťou je zrak, vďaka ktorému môžeme vidieť kde sa predmet nachádza a poskytuje nám priestorové videnie, ktoré nám umožňuje úzko spolupracovať s inými pracovníkmi [3, 4].



Obr. 2: Kolaboratívny robot

2.1 Vlastnosti kolaboratívnych robotov

Úlohou pri navrhovaní kolaboratívnych robotov je nájsť riešenie, ako replikovať vyššie spomenuté ľudské vlastnosti takým spôsobom, ktorý bude nákladovo efektívny. Napríklad čo sa týka bezpečnosti tak, v roku 2016 vydala Medzinárodná organizácia pre normalizáciu (ISO) technickú špecifikáciu (TS) 15066, ktorá definuje bezpečnostné požiadavky na systémy kolaboratívnych priemyselných robotov. Norma stanovila štyri funkcie kolaboratívnych robotov súvisiace s bezpečnosťou, pričom dve najvýznamnejšie sú: 1) sledovanie rýchlosti a separácie (udržiavanie bezpečnej vzdialenosti medzi človekom a aktívnym robotom) a 2) obmedzovanie výkonu a sily (obmedzenie prenosu síl robota na ľudské telo). Kolaboratívne roboty, ako napríklad ABB YuMi, majú dizajnové atribúty, ktoré zahŕňajú nasledujúce ľudské vlastnosti a schopnosti [3, 5].

- **Bezpečnosť** - Ľahkú no tuhú horčikovú kostru má podobne ako ľudská ruka obalenú mäkkou výstelkou a pokrytú plávajúcím plastovým obalom. Toto usporiadanie je schopné vo vysokej miere absorbovať akékoľvek neočakávané nárazy.
- **Kompaktnosť** - Rozmery robota sú podobné rozmerom človeka. Dvojité ramená so siedmimi osami pohybu, ktoré umožňujú robotu mať väčšiu presnosť a obratnosť v pracovnom priestore veľkosti človeka. Čo sa týka robota YuMi, tak ten váži len 38kg a je možné ho napájať štandardným el. napätím (230V), ktoré je jednoduché prenášať a je zaužívané po celom svete.
- **Reakcia** - V prípade neočakávaného nárazu ako je napríklad kolízia so spolupracovníkom, môže robot v priebehu milisekúnd zastaviť svoj pohyb. Pohyb je možné znovu spustiť jednoduchým spôsobom, a to stlačením tlačidla *Play* na ovládači a robot bude pokračovať tam kde skončil.

- **Rýchlosť a presnosť** - Kolaboratívne roboty sú neuveriteľne presné a rýchle. Sú schopné vracať sa znova a znova do rovnakého bodu v priestore s maximálnou rýchlosťou pohybu 1500 mm/s a presnosťou 0,02 mm.
- **Flexibilné uchopenie** - Mnohé z týchto robotov sa dodávajú s integrovanými a vysoko flexibilnými rukami. Tieto ruky sú rôzne konfigurovateľné a je možné v nich používať rôzne typy gripperov. Táto flexibilita je dôležitá najmä z hľadiska rozmanitosti mikrodíelov v dnešnom priemysle.



Obr. 3: Servo gripper a dvojité gripper

- **Jednoduché programovanie** - Schopnosť jednoducho programovať kolaboratívne roboty je nevyhnutná, pretože trh vyžaduje flexibilitu pri manipulácii s rôznymi produktmi. Tie najlepšie kolaboratívne roboty sú vybavené programovaním “Lead-Through Programming“. Toto programovanie umožní užívateľovi viesť robotické ramená a ruky sériou pohybov, pričom sa zaznamenávajú trasové body na spárovanom tablete alebo počítači. Softvér je následne schopný previesť tieto pohyby na základný inštrukčný kód na ovládanie robota. Pre komplikovanejšie úlohy je možnosť priameho použitia programovacích jazykov [3].

2.2 Priemyselné roboty vs kolaboratívne roboty

Prvý priemyselný robot s elektromechanicky poháňanými osami bol predstavený v roku 1973, spoločnosťou KUKA. Robot sa nazýval FAMULUS a mal šesť ôs navrhnutých tak, aby napodobňovali pohyb a mechaniku ľudského ramena. Všetky priemyselné roboty majú jednu spoločnú vlastnosť a tou je, že boli vždy oddelené od ľudských pracovníkov, aby mohli bezpečne vykonávať svoju prácu. Ich masívne pohyblivé časti môžu spôsobiť zranenia, takže pracovníci musia byť v bezpečí počas práce robota a ak sa k nemu chcú priblížiť musia ho najprv diaľkovo vypnúť [6].

Tabuľka 1: Výhody a nevýhody priemyselných robotov [7]

Výhody	Nevýhody
Omnoho rýchlejší a presnejší ako človek, a to aj pri veľkej záťaži	Vysoká rýchlosť nemusí byť vhodná pre málonákladovú výrobu
Pri práci v nečistom a nebezpečnom prostredí, nie sú operátori vystavovaní riziku	Pevná pracovná linka si môže vyžadovať úpravu v rozložení robotov
Programovanie je intuitívne a výkonné s rozsiahlymi možnosťami integrácie	Zvyšovanie nákladov pri zmene procesov, ak sú potrebné externé zdroje
Návratnosť investícií je zvyčajne dosiahnutá za 12 - 18 mesiacov	Na nastavenie, programovanie a údržbu môže byť potrebný špecializovaný personál
Môžu byť implementované v kolaboratívnych linkách, avšak s prijatím možného rizika	Priemyselný robot môže mať podobné počiatkové náklady ako kobot, ale pri zaistení bezpečnosti sa zvyšujú náklady na integráciu systému

Kolaboratívne roboty pomohli mnohým malým a stredne veľkým firmám dosiahnuť vstupný bod automatizácie, čo znamená, že mohli konečne získať niektoré z výhod automatizácie. Aj keď kolaboratívne roboty nedokážu ponúknuť všetky výhody priemyselnej automatizácie, sú určite účinným prvým krokom. Výrobcovia by mali pri zostavovaní automatizovaných liniek zhodnotiť všetky výhody a nevýhody rôznych typov automatizačných prvkov, aby učinili to najlepšie dlhodobé rozhodnutie [7].

Tabuľka 2: Výhody a nevýhody kolaboratívnych robotov [7]

Výhody	Nevýhody
Môžu zvyčajne zdieľať pracovný priestor so zamestnancami	Na definovanie potreby bezpečnostných opatrení je potrebné posúdenie rizika, čo môže byť častokrát dosť nákladné
Ak nie je potrebné vymedzenie špeciálneho priestoru, znížia sa počiatočné náklady na integráciu a narušenie výroby	Bezpečnostné opatrenia môžu mať za následok nízku prevádzkovú rýchlosť alebo viacnásobné zastavenia, ak sa v pracovnom priestore detekuje človek
Relatívne jednoduché na programovanie a integráciu	Obmedzený dosah, užitočné zaťaženie, rýchlosť a presnosť
Odhadovaná doba vrátenia investícií je menej než jeden rok	Aj keď ide o kolaboratívne roboty, operátori sú stále potrební

3 Využitie kolaboratívneho robota YuMi - IRB 14000

3.1 Stručná charakteristika YuMi – IRB 14000

Kolaboratívny robot YuMi je prvý bezpečný priemyselný robot s dvoma ramenami, ktoré majú 7 stupňov voľnosti. Tento dvojramenný robot je ideálny pre montáž a manipuláciu s malými dielmi, kde nosnosť každého ramena je 500g. Ovláda sa systémom ABB IRC. Medzi hlavné výhody dvojramenných robotov oproti jednoramenným sú napríklad:

- **Multitasking** - Ramená sú schopné pracovať nezávisle alebo synchronne vykonávať zložité montážne úlohy.
- **Úspora nákladov** - Dvojramenný robot nahradzuje dva jednoramenné roboty, ale taktiež drahé upínacie a uchopovacie zariadenia, ktoré sa používajú pri jednoramenných robotoch.
- **Úspora priestoru** – Dvojramenný robot vyžaduje menší operačný priestor pri vykonávaní rovnakej činnosti ako dva jednoramenné roboty [8, 9].



Obr. 4: ABB YuMi - IRB 14000

3.2 Ovládanie kolaboratívneho robota pomocou virtuálnej reality

Cieľom výskumu je vytvoriť technológiu pre kolaboratívneho robota, ktorý by bol schopný samostatne alebo v spolupráci s človekom pracovať vo vesmíre na údržbe vesmírnej stanice alebo vesmírnej lodi. Existuje niekoľko systémov schopných diaľkového ovládania, ako je napríklad systém da Vinci alebo systém ROKVISS, kde patria roboty, ktoré je možné ovládať na diaľku zo zeme pri pomocných prácach na Medzinárodnej vesmírnej stanici.

Autori tohoto výskumu navrhli systém na účely práce vo vesmíre spojením virtuálnej reality a integrácie kolaboratívneho robota. Toto riešenie sa líši od predchádzajúcich, pretože využíva výhody virtuálnej reality a bezpečia, ktoré ponúkajú kolaboratívne roboty voči ľuďom. Opäť teda dochádza k vyzdvihnutiu vlastností ako sú spoľahlivosť, lepšia konštrukcia a jednoduchá konfigurácia, ktorými kolaboratívne roboty disponujú [10].



Obr. 5: Testovanie pohybu pomocou VR

Pri tvorbe systému ReMoBot bol používaný robot YuMi - IRB 14000. Vytvorený systém sa preukázal ako funkčný aj na základe výsledkov z niekoľkých experimentov. V jednom mal robot nakresliť čiaru na papier. Robot tento experiment zvládol, ale jeho presnosť ovplyvňovala prirodzená ľudská nestabilita. V budúcnosti by táto nestabilita mohla byť eliminovaná pomocou filtra vstupných údajov o pohybe [10].

3.3 Kolaboratívny robot na skladanie puzzle Tangram

V tomto výskume autori predstavujú aplikáciu kolaboratívneho robota YuMi – IRB 14000 pre hernú sféru. Úlohou robota je poskladať puzzle Tangram, a to buď spolu s ľudským partnerom alebo samostatne. Robot je schopný vyhodnotiť situácie, kde má k dispozícii málo dielikov na vytvorenie požadovaného tvaru alebo opačne, príliš veľa dielikov. V druhom prípade dokáže robot vybrať potrebné dieliky na splnenie úlohy [11].



Obr. 6: Spolupráca pri skladaní puzzle

Na identifikáciu a lokalizáciu dielikov skladačky sa použila kamera, ktorá je zabudovaná do oblasti zápästia pravej ruky robota (možnosť kúpy robota aj bez kamery). Inteligentná etherová kamera má rozlíšenie 1,3 megapixela, objektív 6,2 mm – f/5 a LED osvetlenie. Fotoaparát bol nakalibrovaný na vzdialenosť 500 mm od stola, čo vytvára zorné pole približne veľkosti papiera A3.

Robot bol v experimentoch schopný poskladať požadované obrazce či už ako jednotliviec alebo v spolupráci s človekom. Disponoval schopnosťou rozpoznávania dielikov, uchopenia jednotlivých dielikov a taktiež bolo implementované núdzové zastavenie v prípade kolízie. V budúcnosti by bolo vhodné pridať viac senzorov, ktoré by boli schopné predchádzať kolíziám bez núdzového zastavenia a taktiež by bolo vhodné zlepšiť komunikáciu medzi človekom a robotom [11].

4 Záver

Kolaboratívne roboty sa prezentujú ako žiarivá budúcnosť priemyslu, ale taktiež aj iných vedeckých odvetví. Ich vlastnosti otvárajú nové možnosti využitia automatizácie a robotiky v spolupráci s ľuďmi. Prítomnosť kolaboratívnych robotov na pracoviskách vytvára bezpečnejšie pracovné prostredie a môže odstrániť niektoré ľudmi spôsobované chyby a doceliť produkciu kvalitnejších výrobkov. Osobne ma veľmi zaujalo využitie robota YuMi - IRB 14000 v spojení s virtuálnou realitou, cez ktorú bol robot ovládaný. Myslím si, že práve takéto projekty majú veľké ambície na dosiahnutie úspechov.

References

- [1] WECKENBORG, C., K. Kieckhäfer, C. Müller, *et al.* Balancing of assembly lines with collaborative robots. *Bus Res* [online]. 2020, 13, 93–132. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40685-019-0101-y>
- [2] ZAHAVI, A., S. N. Haeri, D. C. Liyanage and M. Tamre. A Dual-Arm Robot for Collaborative Vision-Based Object Classification, *2020 17th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC)* [online]. 2020, 1-5 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9277067>
- [3] CROWTHER, P. Collaborative Robots Transform Traditional Assembly. *Tech Briefs* [online]. 2015, 39 [cit. 2022-02-26]. ISSN 2474-8498. Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/features/articles/22894>
- [4] GUALTIERI, L., E. Rauch a R. Vidoni. Development and validation of guidelines for safety in human-robot collaborative assembly systems. *Computers & Industrial Engineering* [online]. 2022, (163) [cit. 2022-02-26]. ISSN 0360-8352. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835221007051>
- [5] MARVEL, Jeremy A. Sensors for safe, collaborative robots in smart manufacturing *2017 IEEE SENSORS* [online]. 2017, 1-3 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8234264>
- [6] NICHOLS, Megan R. Collaborative Robots vs. Traditional Robots: What's Right for Your Manufacturing Applications. *Tech Briefs* [online]. 2020 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/stories/blog/36314>
- [7] SMITH, N. Cobots and Industrial Robots: Choose the Right Robot for the Job. *Tech Briefs* [online]. 2018 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/md/features/articles/28809>
- [8] TAGHBALOUT, M., J. F. Antoine a G. Abba. Experimental Dynamic Identification of a YuMi Collaborative Robot. *IFAC-PapersOnLine* [online]. 2019, 13, 1168-1173 [cit. 2022-02-27]. ISSN 2405-8963. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896319313321>
- [9] KRÜGER, J., G. Schreck, D. Surdilovic. Dual arm robot for flexible and cooperative assembly. *CIRP Annals* [online]. 2018, 60, 5-8 [cit. 2022-02-27]. ISSN 0007-8506. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850611000187>
- [10] WANG, H., B. Zhang, T. Zhang and A. Jakacky. Tele-operating a Collaborative Robot for Space Repairs with Virtual Reality, *2019 IEEE 9th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems* [online]. 2019, 175-180 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9066493>
- [11] ANDREY, R., G. Rigoll a R. Meschcheryakov. YuMi, Come and Play with Me! A Collaborative Robot for Piecing Together a Tangram Puzzle. *Interactive Collaborative Robotics* [online]. Budapest: Springer Nature, 2016, 243 - 251 [cit. 2022-02-28]. ISBN 978-3-319-43955-6. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-43955-6_29