

KOLABORATIVNÍ ROBOTIKA

Martin Rytíř

Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické Brno
Ústav automatizace a informatiky
Technická 2896/2, Brno 616 69, Česká Republika
Martin.Rytir@vutbr.cz

Abstract: Kolaborativní robotika je určující směr vývoje robotů ve světě digitalizace a průmyslu 4.0. Následující text shrnuje základní principy, jež jsou nutné zohledňovat při realizaci kolaborativního systému v praxi a nastiňuje příklady kolaborativních robotů na trhu.

Keywords: robot, interakce, kolaborativní, bezpečnost, aplikace kobota

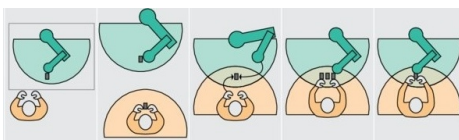
1 Úvod

Slovo robot je na světě známo již celé jedno století. Od roku 1937, kdy byl sestrojen první robot pro průmysl zapadající do normy ISO, prošlo odvětví robotiky rozsáhlým vývojem, především pak za posledních 30 let, kdy průmysloví roboti v mnoha aplikacích nahradili lidskou sílu úplně. V roce 2008 byl instalován ve firmě Linatex první robot spolupracující s obsluhou a to bez ochranných bezpečnostních plotů, fyzicky vymezujících pracovní prostor robota a člověka. I díky současným rychle se rozvíjejícím technologiím vznikla možnost sdílení stejných pracovních prostorů lidí a strojů. Kolaborativní robotika tak čerpá to nejlepší z obou světů, neúnavnost robotů a flexibilitu kreativního člověka při řešení situací.

2 Interakce s člověkem

Kolaborativní robotiku lze popsat jako dosahování výrobních cílů za pomoci automatizovaných procesů při možnosti interakce a kontaktu člověka s robotem, ve stejném pracovním prostoru a čase. Obecně lze tuto interakci chápat jako přenos interpretovaných lidských záměrů a popisů úkolů do posloupnosti pohybů robota, jež odpovídají jeho schopnostem a pracovním požadavkům. Z tohoto lze dále definovat několik úrovní vzájemné interakce (Obr.1). [1]

- Soužití člověka s robotem – zahrnuje vyhýbání se vzájemným kolizím za výkonu zpravidla individuálních úkolů pro dosažení rozdílných cílů v jednom pracovním prostoru, tj. člověk a robot na sebe obecně vzájemně nereagují.
- Synchronizace člověka s robotem – člověk i robot pracují ve stejném pracovním prostoru avšak v jiném pracovním čase.
- Spolupráce člověka s robotem - subjekty ve sdíleném pracovním prostoru plní své úkoly pro dosažení svého nebo společného cíle ve stejném pracovním čase. Pro tento a následující druh interakce je nutné užít pokročilejší senzorická zařízení, kupříkladu k určení silového působení robota, či strojové vidění, aby byly cíle dosaženy včas a nedocházelo ke kolizím mezi subjekty pracovního prostoru.
- Kolaborace/kooperace člověka s robotem – zde dochází k plnění komplexního úkolu pro dosažení stejného cíle, a to při vzájemné silové výměně člověka s robotem, předvídání záměrů chování člověka a následné reakci na ně, nebo verbální či neverbální komunikaci a nepřímé komunikaci, jako rozpoznání směru pohledu očí s následným předvídáním záměru člověka. [8] [6]



Obr. 1: zleva - izolovaná robotická buňka (bez interakce), soužití, synchronizace, spolupráce, kolaborace

3 Realizace systému

Při návrhu kolaborativního robotického systému je nutné mimo jiné zohlednit vhodnost přidělení dané činnosti účastníkům pracovního prostoru. Na úrovních vzájemné interakce mezi člověkem a robotem lze zřetelněji pozorovat jednotlivé role, kde robot zastává především periodicky se opakující úkony vyžadující přesnost úkonu při dané spolehlivosti, vyvození vysokých sil, manipulaci s nebezpečnými látkami či předměty a to vše za integrovaného procesu řízení. Člověk realizuje rozhodovací procesy na základě úsudku situace, či dokáže flexibilně manipulovat se součástkami pro robota těžko uchopitelnými. Dalšími oblastmi při realizaci robotické aplikace jsou kupříkladu hardwarový a softwarový návrh, bezpečnost, kognitivní interakce lidí a robotů, možnosti užití virtuální či rozšířené reality atd. [3]

3.1 Hardware

Základní fyzickou stavební jednotkou kolaborativního robotického systému je kobot sám. V případě hardwaru jde většinou o stacionární robotické rameno s klouby, které je nasazeno mnohdy ve složitých pracovních podmínkách. Je žádoucí, aby pohyb ramene po pracovním prostoru dokázal čelit překážkám, a proto jsou koboti obecně navrženi se sedmi stupni volnosti, se zřetelí na celkovou ergonomii ramene. Díky tomu dokáží spojitě po pracovním prostoru přenášet objekty uchopené v koncovém efektoru a vyhýbat se singularitě. Realizovaná aplikace se poté může skládat z různého počtu kobotů a lidí. V takovém případě předchází realizaci důsledná analýza činností, jež jsou nutné pro dosažení cílů, a podrobný návrh daného pracoviště. [2]

3.2 Software

Na druhé straně softwarová architektura sdružuje správu řízení na vysoké a nízké úrovni s veškerými potřebnými moduly. Takové řízení zahrnuje kupříkladu veškerou sensoriku, komunikaci, bezpečné plánování či rozhodování. Pro výstavbu architektury takového systému v průmyslu, především pokud je vyžadováno decentralizované řízení a rozhodování, je vhodné aplikovat implementaci multiagentních systémů (MAS), které zajistí nezávislost každého subjektu, tzv. agenta v pracovním prostoru. Značnou výhodou je zde především flexibilita. Prakticky se může jednat o výpadek jednoho agenta ze systému či naopak přidání nového agenta do již zaběhlého systému bez nutnosti přeprogramování, nebo jiných zásahů. Další architektura funkčního referenčního modelu (FRM) rozkládá procesy do hierarchického vícevrstvého kontrolního rámce s horizontálním a vertikálním členěním. Takové rozložení zajišťuje snížení složitosti přiřazením podsystémům a následné aplikaci algoritmů v nižších vrstvách řízení.

3.2.1 Cloud a Fog prostředí

Další efektivní přístup k řízení přichází s použitím cloud a fog kapacity. V těchto případech se výpočty a data potřebné k vyhodnocení zpracovávají v těchto virtuálních sdílených úložištích na různých úrovních vrstev mimo pracovní prostor. Data ze sensorických zařízení, kamer apod. jsou odeslána přes průmyslové počítače a kontrolery do fog, tedy "mlžné" vrstvy, kde jsou analyzována a následně zpracována sjednocující cloud vrstvou. Signál, jež je vyslán zpět řídí agenty pracoviště a jeho rychlost je závislá i na hloubce vrstvy ve které byl vyhodnocen. Tato technologie zefektivňuje komunikaci a výpočetní výkon celého systému za vzniku sítě internetu věcí (IoT), jež zajišťuje vzájemnou interakci kupříkladu odbavovaného výrobku s robotem. Takto vznikají dohledatelná data životního cyklu výrobků, se kterými je dále možno nakládat z hlediska optimalizace procesů či přeplánování výroby v reálném čase. Nutností IoT se však stává stabilní připojení sítě s pokrytím kompletní výroby a samozřejmě rychlý přenos dat v síti. [4]

3.2.2 Logika řízení

Složitost vzájemné interakce robota s člověkem z pohledu logiky řízení je převáděna do schémat řízení impedance. Struktura řízení se může skládat ze dvou smyček. Vnitřní je tvořena robotickým neuroadaptivním ovladačem, jež zajišťuje, aby robot fungoval jako model robotické impedance popsané operátorem robota. Vnější smyčka, jejíž řídicí jednotka je navržena specificky pro daný úkol, hledá optimální parametry modelu impedance, pro přizpůsobení dynamiky robota.

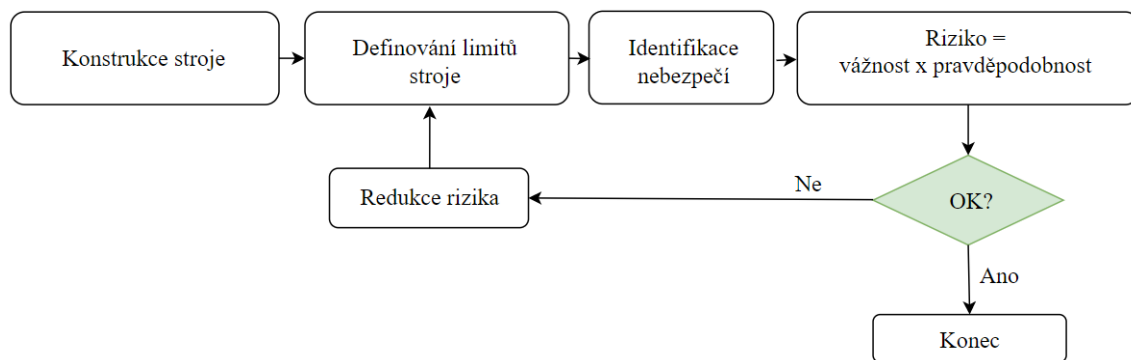
4 Bezpečnost

Obecně z hlediska bezpečnosti lidí ve světě robotů, platí tři zákony robotiky, které definoval Isaac Asimov ve svých románech, a které je nutno zohledňovat při vývoji robotů.

- Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.
- Robot musí uposlechnout příkazů člověka, kromě případů, kdy jsou tyto příkazy v rozporu s prvním zákonem.
- Robot musí chránit sám sebe před poškozením, kromě případů, kdy je tato ochrana v rozporu s prvním, nebo druhým zákonem.

Bezpečnost je v robotice nejdůležitějším hlediskem a zejména v kolaborativní, kde je robot v bezprostřední blízkosti člověka. Proto jsou tyto základní principy rozšířeny o mezinárodně přijaté normy. Od roku 1999 jsou vyvíjeny normy pro definování pravidel a opatření pro roboty v režimu spolupráce – koboty. Na roboty jakožto strojní zařízení se vztahují obecně platné normy tří typů: [7]

Normy typu A - jsou základní normy, definující principy pro dosažení bezpečnosti strojů celkově. (ISO 12100 - Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika). Na obrázku 3 je analogie procesu snižování rizik, s posloupností snižování rizik nejdříve vlastní bezpečnou konstrukcí robota, následně aplikací ochranných opatření a nakonec prostřednictvím informování např. formou pracovních pokynů, či upozornění.



Obr. 2: zjednodušená procedura iterativního zhodnocení rizik dle ISO 12100

Normy typu B – obecné normy, regulující bezpečnostní aspekty pro typ B1 týkající se jednotlivých aspektů jako oddělovací vzdálenost, teploty povrchů, úroveň hluku apod. (ISO 13857 - Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami.) Dále pak B2 definované pro příslušná bezpečnostní zařízení kupříkladu dvouručního ovládacího zařízení, blokovacího zařízení, brzdy atd. (ISO 13850 - Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci.)

Normy typu C – normy, které uvádějí podrobné bezpečnostní požadavky pro konkrétní typ průmyslového stroje, v tomto případě průmyslové roboty a jejich systémové integrace. (ISO 10218-1/-2 Obsahuje specifické požadavky na interakci člověka s robotem při automatickém režimu)

Je tedy nutné brát ohled na rizika, míru pravděpodobnosti jejich vzniku, závažnost dopadů, vážnost možného poranění, frekvenci vzniku rizik, příspěvky k jejich snížení či vzniku nebezpečných poruch za hodinu. Příkladem z praxe může být konstrukce kolaborativních robotických ramen s hmotností v řádu desítek kilogramů, která by při vyšších hmotnostech představovala výrazně větší riziko z hlediska brzdné dráhy a setrvačných sil ramen. Při zohlednění těchto konstrukčních omezení, tak koboti dokáží manipulovat pouze s předměty o jednotkách kilogramů na dosahu koncového efektoru cca do vzdálenosti 1,5 metrů. [5]

5 Příklady použití

Přehled některých dostupných možností kolaborativních robotů na trhu je uveden v následující tabulce:

Tab.1 - Kolaborativní roboti v praxi			
Robot	Společnost	Senzory	Aplikace
Yumi IRB 14000	ABB, Švýcarsko	sledování objektů kamerami; snímače sil - detekce kolizí	montážní linky elektronických a malých dílů
GoFa CRB 15000	ABB, Švýcarsko	sledování objektů kamerami; snímače sil - detekce kolizí, integrované senzory kroutícího momentu v každém kloubu	sestavování, oblavání, aplikace pro rychlé a bezpečné přemísťování
SWIFTI CRB 1100	ABB, Švýcarsko	sledování objektů kamerami; snímače sil - detekce kolizí	sestavování; oblavání; leštění; šroubování; optimalizováno pro kaloborativitu
LBR iiwa	Kuka, Německo	snímače točivého momentu; senzory síly	Obsluha strojů; paletizace; manipulace; měření
Baxter	Rethink Robotics, USA	integrované snímače točivého momentu; integrovaná kamera na rameno; Pohyb a detekce objektů vedené viděním; 360° sonar; přední kamera	Pick n place aplikace; obsluha CNC strojů; obrábění kovů a lisování; vstřikování plastů a vyfukování; obalování; testování a kontrola kvality
Baxter	Rethink Robotics, USA	integrované snímače točivého momentu; integrovaná kamera na rameno; Pohyb a detekce objektů vedené viděním; 360° sonar; přední kamera	Pick n place aplikace; obsluha CNC strojů; obrábění kovů a lisování; vstřikování plastů a vyfukování; obalování; testování a kontrola kvality
UR3 a 5 a 10	Universal Robots, Dánsko	snímače síly; snížení rychlosti v přímém programování	obalování; paletizace; manipulace s potravinami; Pick n Place dílů do optimalizovaných výrobních toků
Robonaut	NASA, USA	stereofonní kamera; infračervená kamera; pomocné kamery s vysokým rozlišením; miniaturizované 6osé siloměry; snímání síly v kloubech	mezinárodní vesmírná stanice; vesmírná robotika
APAS	Bosch, Německo	bezdotykový spouštěcí senzor; 3D stereofonní kamera; 2D černobílá kamera	Pick n place; sestavování; obsluha strojů; obalování
COMAU robot dvoura-menný	COMAU, Itálie	přibližovací a hmatové senzory; systém vidění; senzor síly / momentu	manipulace s těžkými a složitými geometrickými díly; manipulace s pružnými částmi z různých materiálů; Pick n place velkých objektů; automobilový průmysl
Rob@Work 3	Fraunhofer IPA, Německo	3D kamera; stereokamerové systémy; laserové skenery	veškeré úkony průmyslu
DLR-LWR III	DLR, Německo	snímače točivého momentu; redundantní snímání polohy; senzor síly a točivého momentu na zápěstí	sestavování; mobilní aplikace servisování
DLR LWR 4 + & 5	Kuka-DLR, Německo	senzory točivého momentu	automatizace komplexních úkolů; jemné sestavování

Většina uvedených robotických řešení je konstruována se sedmi stupni volnosti na rameno (někteří roboti se skládají ze dvou ramen, např. robot YuMi od ABB), přičemž programování probíhá většinou v softwarech vyvíjených taktéž příslušnou společností. (např. ABB - Robotware; Kuka - Kuka Sunrise API atp.)

6 Závěr

Základní myšlenkou aplikace kolaborativních systémů je automatizace a robotizace výroby za benefitování z úspory nákladů především efektivní výrobou, ušetření lidské síly či eliminace investic, které by vznikly při aplikaci klasických industriálních robotů (nutnost oplocení, náročnost na plochu). Z praxe vyplývá že vhodnost aplikace kolaborativního robotického pracoviště se vyplácí všude, kde je vykonávána periodická činnost, od které je vyžadovaná konstantní kvalita. Takový kobot by měl být v automatickém stavu alespoň 320 hodin měsíčně pro nahrazení dvousměnného provozu, avšak počítá se, že robot nahrazuje až 4 lidi, kvůli možnosti pracovat nepřetržitě. Za další výčet výhod lze považovat úspora místa, podstatně jednodušší a uživatelsky mnohdy příznivější programování (např. pomocí učení cílů při ručním přesouvání ramene robota) nebo flexibilita robota při výkonu různorodých činností ve výrobním podniku. Za současný stanradt inteligence kobota lze považovat například automatické přepočítávání trajektorie při detekci překážek. Jako další technické možnosti pak uvést aplikace algoritmů umělé inteligence či analýza prostředí a následné vyhodnocování nakládání s objekty (např. robot ví, že daný objekt je ze skla a automaticky vyhodnocuje silová omezení stisku efektoru).

Výhody kolaborativních robotů jsou využívány nejen napříč celým průmyslovým spektrem jako např. automobilní průmysl, elektronika, potravinářství, plastikářský průmysl, ale i v gastronomii či lékařství. Jako hlavní důvody podporující aplikaci kolaborativní robotiky se považuje ekonomická návratnost, zajištění bezpečnosti práce a v neposlední řadě technologická progresse z pohledu konkurenceschopnosti.

Reference

- [1] BAUER, W., BENDER, M., BRAUN, M., RALLY, P., AND SCHOLTZ, O. Lightweight robots in manual assembly—best to start simply. examining companies' initial experiences with lightweight robots. *Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart 63* (2016).
- [2] HAN BO, MENOTH MOHAN, D., AZHAR, M., SREEKANTH, K., AND CAMPOLO, D. Human-robot collaboration for tooling path guidance. In *2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)* (2016), pp. 1340–1345.
- [3] HENTOUT, A., AOUACHE, M., MAOUDJ, A., AND AKLI, I. Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017. *Advanced Robotics 33*, 15-16 (2019), 764–799.
- [4] MAGYAR, G., AND VIRCIKOVA, M. Proposal of a cloud-based agent for social human-robot interaction that learns from the human experimenters. In *2015 IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)* (2015), IEEE, pp. 107–111.
- [5] MASSA, D., CALLEGARI, M., AND CRISTALLI, C. Manual guidance for industrial robot programming. *Industrial Robot: An International Journal* (2015).
- [6] MATHESON, E., MINTO, R., ZAMPIERI, E. G. G., FACCIO, M., AND ROSATI, G. Human–robot collaboration in manufacturing applications: A review. *Robotics 8*, 4 (2019).
- [7] SICILIANO, B., AND KHATIB, O. *ed. Springer Handbook of Robotics*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.
- [8] WANG, N., ZENG, Y., AND GENG, J. A brief review on safety strategies of physical human-robot interaction. In *ITM Web of Conferences* (2019), vol. 25, EDP Sciences, p. 01015.