

KOLABORATIVNI IN INDUSTRIJSKI ROBOTI – ČESA SI ZARES ŽELIMO, KOLABORATIVNOSTI ALI HITROSTI ROBOTOV?

Jan KRAMŽAR, Tim VRBANČIČ
INEA RBT – oprema za avtomatizacijo, d.o.o.

IZVLEČEK

Kolaborativnost bržkone pomeni (tudi) varnost, hitrost pa v primeru robotov kratke cikle. Sodelujoči roboti brez dvoma prinašajo sebi edinstvene funkcionalnosti – poleg večje varnosti je mogoče robotsko roko ročno voditi, programiranje točk pa je bolj enostavno in intuitivno, kar omogoča večjo fleksibilnost procesa. Industrijski roboti so po drugi strani hitrejši, namenjeni hitremu »cikliranju«, številnim proizvodnim serijam, prinašajo pa tudi večjo preciznost. Industrijski robot s pomočjo dodatnih varnostnih komponent tudi lahko postane (omejeno) kolaborativen – ob posegu operaterja v delovno območje se robot upočasni ali ustavi, vseeno pa najvišje stopnje kolaborativnosti (kot je to mogoče s kolaborativnimi roboti) ni mogoče doseči. Večino časa obratovanja bo tak robot hiter, proces produktiven, v varnem načinu pa bo deloval le takrat, ko bo to zares potrebno. V primeru kolaborativnih robotskih aplikacij se porajajo še vprašanja glede ostalih dejavnikov procesa. Ali so lahko denimo ostri, vroči in drugi nevarni obdelovanci del kolaborativne robotske aplikacije? Stopnjo tveganja kolaborativnega procesa je zahtevno oceniti, pri vsemu skupaj pa je potrebno zadostiti varnostnemu standardu ISO, ki določa najvišjo dovoljeno hitrost robota, njegovo moč, silo in ergonomijo v aplikaciji. V prispevku bomo skušali razjasniti opisano problematiko, našli pa bomo tudi primere uporabe, kjer je uporaba kolaborativnega robota zares smiselna.

1 UVOD

V današnjem času, ko se je kolaborativna robotika razvila že do zelo visokega nivoja, je dilema ali uporabiti industrijskega ali kolaborativnega robota, v nekaterih primerih povsem na mestu. Sleherni inženir oziroma snovalec se v primeru aplikacij, kjer je v delovnem območju robota aktiven tudi delavec, vpraša kako čim bolj učinkovito rešiti »problem sodelovanja« obeh, torej robota in človeka. Končna izbira je lahko enostavna, lahko pa tudi zahtevna, če poskušamo z robotizacijo procesa doseči več ciljev hkrati. Dva cilja, ki se ne nujno izključujeta v primeru opisane problematike, sta doseganje visoke produktivnosti (beri hitrosti procesa) in hkratne kolaborativnosti (beri varnosti). Vsekakor obstajajo primeri aplikacij, kjer so dejavniki za odločitev v korist bodisi za industrijskega robota, bodisi za kolaborativnega robota, zelo jasni.

V osrednjem delu članka bomo govorili o karakteristikah standardne rešitve z industrijskimi roboti in o karakteristikah robotskih postaj s kolaborativnimi roboti ter o prednostih ene in

druge možnosti. Pri opisani problematiki se bomo sklicevali tudi na robote Mitsubishi Electric.

2.1 Karakteristike, prednosti in omejitve industrijskih robotov

Poleg najrazličnejših struktur robotskih rok (večinoma 6 osni vertikalni, 4 osni horizontalni, mikro roboti, delta roboti, ipd) so nekako glavne karakteristike industrijskih robotov na trgu sledeče:

- zasnova robotske roke je industrijska, kar naj bi prinašalo primerno življenjsko dobo v industrijskih okoljih ter visoko ponovljivost (pri Mitsubishi robotih je ponovljivost pri večini modelov 0,01 in 0,02 mm, pri nekaterih modelih pa tudi 0,005 ali le 0,03 mm),
- robotske roke so gnane s pomočjo AC/DC motorjev
- logiko ponovljivih robotskih gibov narekuje krmilnik (robotski in/ali PLC krmilnik)
- na robotske roke je mogoče namestiti razna prijemala in orodja glede na nalogo, ki jo robot izvaja,
- roboti so namenjeni širokemu spektru industrijskih aplikacij (od premeščanja,

vstavljanja, vijačenja, spajkanja, lepljenja, montaže raznih delov in podobnih operacij) za različne teže bremen (do maksimalno 2,3 tone, potrebno je upoštevati tudi težo prijemal)

Industrijski roboti so z visokimi hitrostmi (do 11000 mm/s kompozitne hitrosti v primeru robotov Mitsubishi Electric) narejeni za doseganje visoke produktivnosti v industrijskih (t.i. surovih) pogojih, glavna karakteristika ponovljivega izvajanja gibov glede na sprogramirane pozicije pa vsekakor pomeni popolno neprilagodljivost na morebitne spremembe v bližini robota. Robotska roka, ki zgolj sledi naučenim pozicijam, ni zmožna zaznati posega človeka, zamika pozicije, nepričakovanega/neustrezenega obdelovanca ali raznih mehanskih okvar v delovnem območju robota. Poleg tega industrijski roboti pri visokih hitrostih pri trku s človekom, obdelovancem oziroma z mehansko konstrukcijo lahko povzročijo resne poškodbe človeka in visoko materialno škodo.

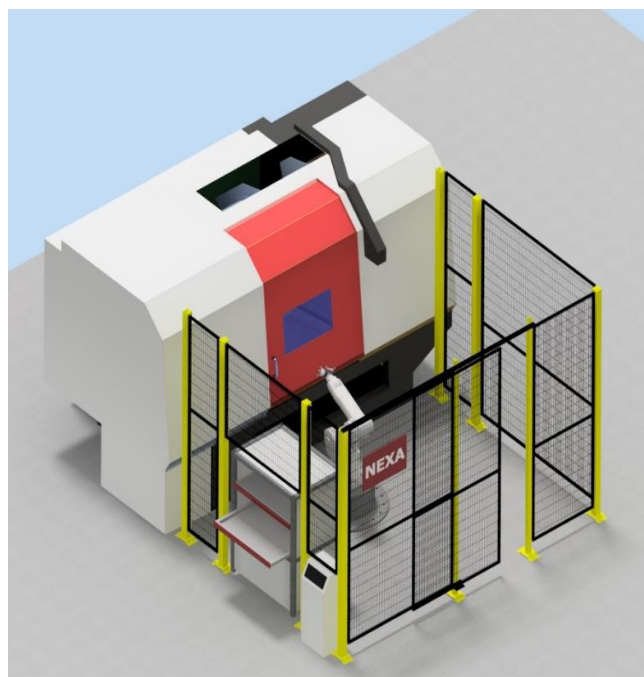
2.2 Dodatne komponente in rešitve, ki omogočajo delno kolaborativnost

Ob dopolnitvi industrijskega robota z varnostno logiko in dodatnimi komponentami se lahko doseže robotsko rešitev, ki robotu omogoča zaznavanje okolice in nove funkcije. Varnostne zavese in senzorji zaznavajo poseg v delovno območje robota, 2D in 3D kamere omogočajo strojni vid in zaznavo kosov (pozicijo, orientiranost, obliko in tudi morebitno neustreznost obdelovancev). Med prirobnico robotske roke in prijemalo je mogoče vgraditi senzor sile, ki robotu poleg »slepega« sledenja naučenih točk omogoča tudi zaznavanje sile, s katero pritiska na obdelovanec (npr. za aplikacije spajkanja, vstavljanja, brušenja, poliranja, ipd.). Naštete komponente (2D/3D kamera, senzor sile in varnostni senzorji) robotu na nek način omogočajo človeški čutili – vid in tip.

2.3 Zasnova aplikacije z industrijskim robotom

Klasična zasnova robotske aplikacije z industrijskim robotom vsebuje robotsko roko, ki posluhuje proces, samo celico, ki je ponavadi definirana z varnostno ograjo in zaklenjenimi vrati (oz. podobno zaprto konstrukcijo), kontrolni panel

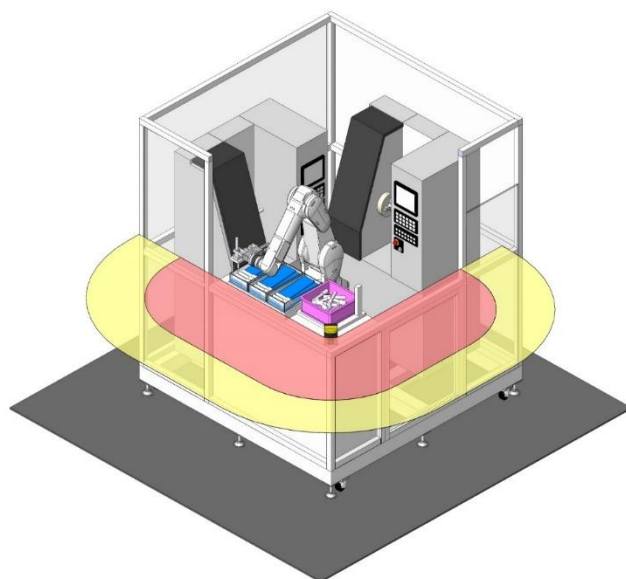
zunaj celice ter podobne omejitve (slika 1). Takšna zasnova omogoča nemoteno »cikliranje« robota in popolno izločitev motečih dejavnikov, kar prinaša visoko produktivnost in natančnost procesa. Za dostop do robota in same aplikacije je potrebno popolnoma zaustaviti proces oziroma vključiti ročni način vodenja.



Slika 1: Prikaz zasnove robotske aplikacije z industrijskim robotom

Večjo kolaborativnost oziroma fleksibilnost aplikacije z industrijskim robotom je mogoče doseči že z varnostnimi senzorji (SICK, Keyence in podobni), ki izločajo potrebo po varnostni ograji. V sklopu varnostnega paketa MELFA SafePlus, ki je namenjen industrijskim robotom Mitsubishi, je z uporabo dodatnih komponent mogoče doseči varnostne funkcije nivoja SIL3 (Safely-Limited Position, Safely-Limited Speed, Safe Operation Stop, Safe Stop 1 in Safe Stop 2) in SIL4 (Safe Torque Off).

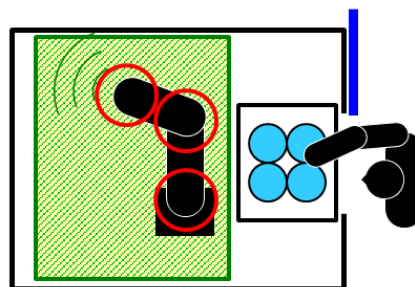
Posebej zanimiva je funkcija SLS – Safely-Limited Speed oziroma »varnostno omejena hitrost«, ki s pomočjo senzorja za zaznavanje človeka v prostoru omogoča določitev varnostnih območij (npr. 2 območji). Ko bo človek vstopil v rumeno območje bo robot upočasnil svojo hitrost, pri vstopu v rdeče območje pa se bo robot popolnoma zaustavil (slika 2).



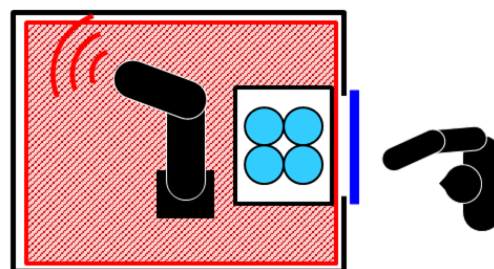
Slika 2: Zasnova robotske aplikacije z industrijskim robotom in določenima varnostnima območjema, ko v njiju vstopi človek (rumena označuje območje upočasnitve robota, rdeča pa območje popolne zaustavitve robota)

Druga, prav tako zanimiva funkcija je SLP – Safely-Limited Position, oziroma »varnostno omejevanje pozicije«. V območju dosega robotske roke je mogoče določiti do 8 con, v katere robotska roka ne sme poseči, ko je v določenem območju človek (slika 3).

Omejeno gibanje



Normalno delovanje



Slika 3: Omejitev delovanja robota, ko je v določenih območjih procesa prisoten človek

S pomočjo navedenih funkcij je mogoče zagotoviti stalno visoko produktivnost in neprekinjenost procesa, razen ko so posegi človeka v območje robota nujni.

2.4 Lastnosti kolaborativnih robotov

Kolaborativne robote karakterizira varnost, prilagojena hitrost, visoka fleksibilnost in zmožnost sodelovanja s človekom. Oblika kolaborativnih robotskih rok je v primerjavi z industrijskimi rokami bolj okrogla, zglobovi so ustrezno oblikovani, kar izloča možnost ščipa človeških rok in prstov. Kolaborativni roboti so večinoma lahke zasnove in omogočajo funkcijo zaznavanja trkov (ki je omogočena programsko in/ali s pomočjo senzorjev ter naprednih pogonskih motorjev z enkoderji) ter nudijo intuitivne funkcije za sodelovanje s človekom. Kolaborativni robot proizvajalca Mitsubishi z imenom MELFA Assista RV-5AS denimo

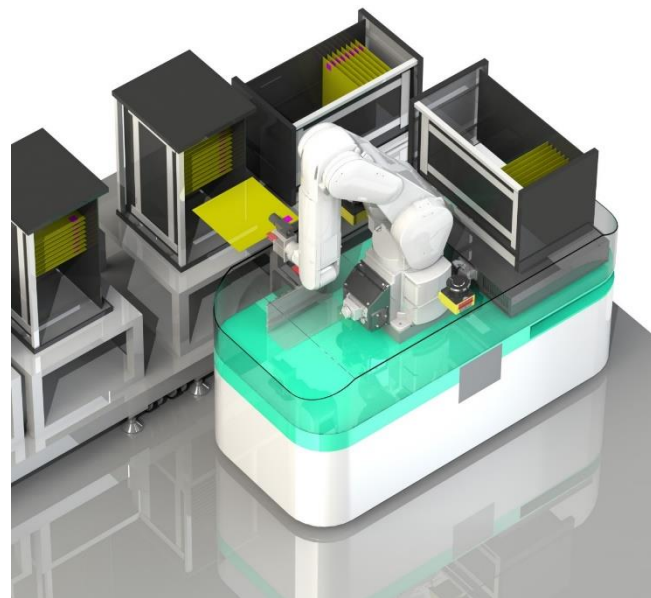
omogoča ročno vodenje robotske roke ter enostavno spreminjanje in učenje pozicij preko panela na robotski roki. Maksimalna kolaborativna hitrost MELFA Assista Cobota je 250 mm/s, omogoča pa tudi industrijski način delovanja z maksimalno hitrostjo 1000 mm/s z uporabo varnostnih komponent. Samo programiranje poteka v intuitivnem programskem orodju RT VisualBox, dostopnem tudi za »Touch-Screen« naprave. Robotska roka MELFA Assista je sicer pretežno sestavljena iz kovinskih delov, kar v primerjavi z nekaterimi konkurenčnimi kolaborativnimi roboti prinaša bolj industrijsko zasnovano roko, posledično pa tudi večjo trpežnost, višjo ponovljivost in daljšo življenjsko dobo. MELFA Assista ima v zglobeh vgrajene AC servo motorje z vgrajenimi enkoderji, ki omogočajo zaznavanje pozicije, hitrosti in navora.

Maksimalna hitrost robotov, ki omogoča varnostni način delovanja, kot nalaga standard ISO 10218-1, znaša 250 mm/s. Pri tej maksimalni hitrosti v primeru trka robotska roka naj ne bi poškodovala človeka/operatorja. Pri MELFA Assista Cobotu varnostno zaustavitev v primeru trka zagotavlja algoritem konstantnega preračunavanja razmerja med hitrostjo roke in navora v pogonih. Če so varnostna razmerja presežena (kar se recimo zgodi v primeru trka s človekom ali v primeru nekaterih drugih atipičnih obremenitev), robotska roka prekine svoje delovanje. Poleg delovanja robotske roke z varnostno hitrostjo, varnost robotskih aplikacij ureja še standard ISO 10218-2. Slednji zahteva, da so hitrost robota, minimalna vmesna razdalja, parametri moči, sile in ergonomija ter drugi parametri celotne aplikacije določeni z oceno tveganja. Kaj to pomeni – poleg kolaborativne robotske roke, ki je zgolj »izolirana« komponenta v aplikaciji, je za popolno kolaborativnost potrebno oceniti še ostale dejavnike tveganja. Del kolaborativne aplikacije so tudi robotska prijemala. Potrebno je zagotoviti takega, ki jasno indicira kolaborativni režim delovanja – bodisi gre za klasično prijemalo, vijačnik ali kaj drugega.

2.5 Zasnova kolaborativnih robotskih aplikacij

Poglejmo si še zasnovo kolaborativnih robotskih delovnih postaj (s kolaborativnimi roboti). Sama zasnova ne zahteva varnostnih ograj,

saj to ob vključenih kolaborativnih funkcijah ni potrebno. Zasnova omogoča direktni dostop do robota in aplikacije, hitro in enostavno spreminjanje aplikacije pa je mogoče zahvaljujoč intuitivnim funkcijam kolaborativnih robotov.



Slika 4: Prikaz zasnove robotske aplikacije s kolaborativnim robotom – kolaborativni robotski proces je zahvaljujoč kolaborativnim funkcionalnostim robota in pripadajočih komponent prosto dostopen

Učni panel za spreminjanje točk je v primeru MELFA Assista robota dostopen na robotski roki, spreminjanje robotske aplikacije je hitro in enostavno, napredna znanja programiranja niso potrebna. MELFA Assista je komplementarna tudi s kolaborativnimi orodji (prijemala in vijačniki). MELFA Assista sicer z integracijo dodatnih varnostnih komponent omogoča tudi industrijski način delovanja z maksimalno hitrostjo 1000 mm/sek.



Slika 5: MELFA Assista je kolaborativni robot proizvajalca Mitsubishi Electric ter zagotavlja intuitivno in enostavno prilagajanje aplikacije, industrijsko zasnovano robotske roke, dolgo življenjsko dobo, visoko ponovljivost (0,03 mm) in skladnost z varnostnimi standardi

2.6 Smiselni primeri vzpostavitve kolaborativnih robotskih aplikacij

Poraja se torej vprašanje kje in kdaj uporabiti kolaborativnega robota. Poleg prej omenjenih varnostnih standardov ISO 10218-1 in -2 obstaja še tehnična specifikacija ISO/TS 15066. Slednja nalaga, da je v aplikaciji omejitev hitrosti odvisna od inercije in minimalne velikosti območja na robotu, ki lahko zadane del človekovega telesa. Poleg tega predmeti z ostrimi, koničastimi in rezilnimi robovi ne smejo biti prisotni v območju kontakta. Glede na našeto, brez dvoma odpadejo aplikacije, kjer so že sami obdelovanci nevarni, ostri, vroči in lahko poškodujejo operaterja. Take aplikacije so recimo procesi, kjer robot služi strojno obdelavo (brušenje, rezkanje, vzemanje iz CNC stroja in peči,...). Obdelovanci imajo v slednjem primeru lahko ostre robove, so vroči in lahko kako drugače poškodujejo operaterja, tudi poseg operaterja v bližino takega stroja vsekakor ni varen. Kolaborativni režim (po ISO standardu)

delovanja robota prav tako odpade pri aplikacijah, kjer je potrebno zagotoviti visoko produktivnost oziroma visoko hitrost (kar kolaborativna hitrost 250 mm/sek ne omogoča). Klasični primer je pakiranje večjih količin proizvodov, za kar je smiselna uporaba industrijskih robotov.

Eden izmed primerov, kjer pride v poštev kolaborativni robot, je pobiranje kosov iz škatle (»bin picking«). Če le te niso vedno na isti poziciji in povsem enake velikosti/oblike, je pri taki aplikaciji nujna tudi 3D kamera. Kolaborativna hitrost je ustrezno visoka, menjavanje med različnimi tipi obdelovancev in velikostmi škatel je zagotovljena s prilagodljivim učenjem točk, kar kolaborativni robot omogoča. Drugi primer je pakiranje manjših količin proizvodov (ki lahko obstajajo v večih različicah) v škatle. V primeru večih različic proizvodov z nizkimi količinami delavec enostavno nauči robota vstavljanje obdelovancev/predmetov na poljubno število točk (npr. 25 pozicij v eni škatli). Proces pakiranja se izvaja za manjšo serijo proizvodov (npr. 700), kasneje pa delavec robota nauči pakiranje za novih npr. 1100 kosov nekega drugega proizvoda z novimi dimenzijami v ustrezno škatlo. Tretji primer je lahko robotsko posluževanje stroja, enostavna učljivost točk pa omogoča hitro »selitev« iz stroja na stroj (tak stroj v primeru kolaborativne aplikacije ne sme izvajati človeku nevarnega procesa). Eden od primerov možne uporabe je kontrola kvalitete. Peti primer je montaža/sestavljanje proizvodov, ki npr. obstajajo v 10 različnih izvedbah in se med seboj malenkost razlikujejo, serije pa so manjše – npr. po 1000 kosov ene različice.

Skupni imenovalec oziroma izziv vseh naštetih primerov je mešani proizvodni proces. Na ta izziv kolaborativni roboti odgovarjajo z enostavnim, hitrim in intuitivnim posodabljanjem točk, za kar ni potreben programer. Slednje lahko opravi sam operater/delavec preko učnega panela na robotski roki. Kolaborativni robot je vsekakor smiseln pri manjših proizvodnih količinah, kjer je torej menjavanje med različnimi produkti ali njihovimi verzijami pogosto. V poštev pride kolaborativni robot tudi tam, kjer so avtomatizirani gibi (robotske) roke lahko komplementarni ročnim (bolj kompleksnim) operacijam, oziroma kjer človek in robot delujeta z "ramo ob rami".

3 SKLEP

Brez dvoma so izločitveni dejavniki pri izbiranju med kolaborativnim in industrijskim robotom sledeči: 1. potreba po visoki hitrosti, 2. potreba po varnosti, 3. potreba po posluževanju mešane proizvodnje večih različic izdelka z nizkimi količinami, kjer je potrebno aplikacijo pogosto posodabljeti, 4. potreba po kombiniranemu sestavljanju obdelovancev oziroma posluževanju procesa (kombinacija robota in človeka) in 5. aplikaciji specifični dejavniki. Ko je pomembna hitrost, visoka produktivnost in ko je nujno zagotoviti ponovljivost produktov in procesa, takrat so brez dvoma prva izbira industrijski roboti. V primeru nujne potrebe po sodelovanju s človekom in mešane proizvodnje pa so prva izbira kolaborativni roboti.

Zaključimo lahko z mislijo, da je pri snovanju robotskih aplikacij potrebno vzeti v obzir več dejavnikov. Vsekakor je zmotno izbrati kolaborativnega robota zato, ker so moderni in v »trendu«. Ključno je pretehtati vse prednosti in slabosti enih in drugih robotov, lastnosti obdelovancev in celotnega procesa ter presoditi vse dejavnike tveganja. Ključno je zagotoviti najvišjo možno produktivnost procesa (v obliki hitrosti in kratkih ciklov robotov) ter popolno varnost aplikacij za ljudi.

Viri:

- [1] Mitsubishi Electric Polish Branch, interno gradivo, »Can Safety and performance be achieved in one application?«
- [2] Fanuc, The M-2000 series is the strongest family of industrial robots on the market (<http://https://www.fanuc.eu/es/en/robots/robot-filter-page/m-2000-series>)