

SODELUJOČI ROBOTI – RAZVOJ IN UPORABA V MONTAŽI

Dragica Noe

Izvleček:

Sodelujoči roboti postajajo stalnica v industrijski proizvodnji. Čeprav njihov razvoj še ni dokončen, že sedaj s svojimi dobrimi lastnostmi učinkovito podpirajo optimizacijo procesa montaže. Da bi bila odločitev za njihovo uvajanje v proizvodnjo lažja, je smiselno razjasniti njihove značilnice in kje je uporaba ustrezna. Uporaba sodelujočih robotov mora biti varna in učinkovita, zato morajo sami in njihova vgradnja v montažne sisteme ustrezati varnostnim standardom. Vsekakor pa je upravičeno vprašanje, kaj je treba upoštevati, da bo njihova uporaba učinkovita in upravičena.

Ključne besede:

industrijski roboti, montaža, sodelujoči roboti, varnost pri delu z roboti, varnostni standardi, načini sodelovanja robot-človek

1 Uvod

Ideja o človeku podobnih strojih je vedno burila duhove. Lahko so bile to otroške igrače, vesoljski potniki, vojaki v Vojni zvezd, vedno so se jim pripisovale lastnosti človeka. Zapisali so celo pravila o nepoškodovanju lastnika robota, zaprli so jih za ograje, dovolili so jim gibanje med ljudmi, z razvojem umetne inteligence prevzemajo tudi odločitve namesto človeka in postajajo pravi timski sodelavci. Postavljeni smo tudi pred dejstvo, da bo treba sprejeti ustrezno zakonodajo za prevzemanje njihove krivde pri napačnih odločitvah. Razvoj je bil vsekakor zelo buren.

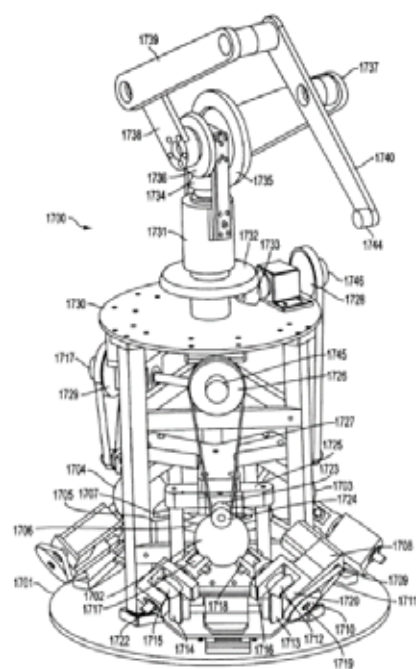
Dejstvo je, da je razvoj robotike in robotov šel v različne smeri. Še vedno pa so to avtomatično krmiljeni, programirljivi večnamenski manipulatorji s tremi ali več osmi oziroma prostostnimi stopnjami, ki so lahko pritrjeni na fiksni ali mobilni podstavek ter so zasnovani tako, da lahko izvajajo naloge v sodelovanju s človekom, kot to opredeljuje standard ISO [1, 2]. Ta definicija vključuje tako imenovane industrijske robote, avtomatsko krmiljeni vozički (AGV) so razvrščeni v skupino servisnih robotov.

Glede na podano opredelitev je poznanih več tipov sodelujočih robotov (SR) in tudi nivojev stikov med delavcem in robotom pri sodelujočem delu.

Eden od primerov sodelovanja je, ko deluje zaprt za ograjo v svojem delovnem prostoru in skrbniki robotov občasno vstopajo v njegov delovni prostor, ne da bi bilo delovanje robota izključeno, če to zah-

teva na primer vnaprejšnji poseg v delovanje celice pred nevarnostjo zastoja. Še posebno, ker so zastoji lahko dolgotrajni in zaustavitev robota pomeni velike stroške. V ta namen robot nosi senzorje, ki zaznajo gibanje človeka in upočasnijo gibanje robota ali ga ustavijo, po končanem posredovanju se proces nadaljuje brez zastoja.

Večje število industrijskih robotov pa je zasnovanih tako, da si s človekom delijo delo in delovni prostor. Ti so najpogosteje imenovani »coboti« oziroma sodelujoči roboti (v nadaljevanju SR) in imajo vgrajene tehnične lastnosti, ki zagotavljajo, da ne poškodujejo človeka, ko namensko ali po nesreči



Slika 1: Patentirani cobot avtorjev Colgata in Peshkina [3]

Izr. prof. dr. Dragica Noe, univ. dipl. n.ž., UL, FS – uredništvo revije Ventil



Slika 2 : Sodelujoči robot (A), razvit v DLR, in (B) KUKA cobot LBR iiwa



Slika 4 : Sodelujoči robot URx [6]

pridejo z njim v neposredni kontakt. Uporabljeni so lahki materiali, robovi so zaokroženi, so oblaženi z vgrajenimi senzorji v robotovi osnovi ali v členkih, ki merijo silo, momente in hitrost gibanja, kar mora vse zagotoviti, da ne delujejo izven določenega praga oziroma področja, ko nastane kontakt med človekom in SR.

2 Zgodovinski razvoj

Prvi zapis o sodelujočih strojih – robotih («collaborative robots – cobots») – je patent Colgata in Peshkina, ki je bil prijavljen v letu 1999 [3]. Patentirani sta bili naprava in metoda za neposredno vzajemno delovanje človeka in univerzalnega manipulatorja na kolesih, ki ga krmili računalnik ob sodelovanju človeka.

Še nekaj let, vse do leta 2008, so sodelujoče robote v industrijski proizvodnji sprejemali s skepticizmom, najbrž kot vse nove tehnologije. Leta 2004 je podjetje Kuka Roboter GmbH predstavilo na trgu enega prvih industrijskih SR – Cobot LBR 3. Ta lahek računalniško krmiljen robot je bil rezultat sodelovanja podjetja Kuka in Institute of Robotics and Mechatronics pri German Aerospace Centru (DLR). Kuka je izpopolnila tehnologijo in predstavila la-

hek robot LBR 4 v letu 2008 in LBR iiwa leta 2013 [4]. Podjetji KUKA in DLR sta v letu 2012 v okviru strateškega sodelovanja začeli z raziskavo možnosti sodelovanja delavcev in robotov KUKA LBR v montaži in v letu 2013 so bili roboti LBR prvič uporabljeni pri sodelujočem sestavljanju menjalnikov za zadnjo os v podjetju Mercedes-Benz [5].

Roboti LBR iiwa so bili prvi, ki so jih izdelovali serijsko z vgrajeno sensoriko in so bili tako primerni za sodelovanje s človekom. LBR pomeni Leichtbauroboter (nemško: lahki robot). Ti roboti so lahko postali inteligentni asistenti pri industrijskem delu (iiwa – intelligent industrial work assistant). To je pomenilo začetek novega obdobja v industrijski robotiki. Postavljeni so bili temelji za inovativne in trajnostne proizvodne procese. Ljudje in roboti lahko tako prvič tesno sodelujejo pri zelo občutljivih nalogah. To odpira možnost novih aplikacij in utira pot večji stroškovni učinkovitosti in največji prilagodljivosti. SR LBR iiwa je danes na voljo v dveh različicah: z nosilnostjo 7 in 14 kilogramov [8].

Sočasno je podjetje Universal Robots v letu 2008 prodalo svoj prvi SR UR5. Štiri leta kasneje je podjetje Universal Robots poslalo na trg robote UR10, UR3 in UR15. Podjetje danes velja za največjega dobavitelja sodelujočih robotov v svetu in je prodalo



Slika 3 : Drug poleg drugega delavka v montaži in KUKA cobot v tovarni BMW. Vir: [7].

čez 42 000 robotov. SR so za različne nosilnosti: 3, 5, 10 in 16 kg. S šestimi prostostnimi stopnjami so izjemno gibljivi in prilagodljivi, enostavni za integracijo v obstoječe okolje.

3 Sodelujoči roboti v montaži

SR so zaradi svojih posebnih značilnosti, kot so gibljivost, fleksibilnost, lahka konstrukcija, majhna nosilnost, omejen doseg, vgrajeni senzorji, enostavnost programiranja itd., primerni za integracijo v ročne montažne sisteme, še posebej, ko se povežejo gibljivost in prilagodljivost delavcev v montaži in odlične sposobnosti SR.

Sodelujoči roboti lahko izvajajo številne postopke v proizvodnji, kot so montažne operacije, pakiranje in paletiranje, vstavljanje, privijanje, ločevanje, preusmerjanje, dodajanje in odvzemanje ter nanašanje lepil, varjenje, kontrola in testiranje ter podobna opravila. Pri uporabi je smiselno upoštevati omejitve lahkih robotov, kot so na primer nosilnost – omejitev mase obdelovancev oziroma sestavov, prevelika gibljivost – manjša ponovljivost pri vstavljanju.

V splošnem pa velja, da sodelujoči roboti razbremenijo delavce v montaži ponavljajočih se gibov, ki so za delavce monotoni, dviganja težkih sestavnih delov oziroma sestavov. S prevzemom številnih opravil je mogoče skrajšanje takta montaže. Zaradi enostavnega programiranja so prehodi na montažo novih izdelkov enostavnejši. Vključitev SR v proces montaže po mnenju številnih avtorjev takoj poveča obseg proizvodnje in fleksibilnost [9].

Za integracijo SR v proces montaže se je uveljavila naslednja klasifikacija sodelovanja človeka in sodelujočega robota, ki jo je mogoče uporabiti tudi glede na delitev delovnega prostora in opravil, čeprav se v literaturi najdejo tudi druge oblike sodelovanja (slika 5) [9]:

- ▶ sožitje, kadar sta človek in robot v istem delovnem okolju, vendar dejansko ne delujeta vza-

jemno, med njima pa ni pregrade, delo najprej opravi prvi in ga nato nadaljuje drugi;

- ▶ zaporedno delo, ko človek in robot delata skupaj v istem delovnem prostoru na istem sestavu, vendar v različnih časih;
- ▶ sodelovanje, ko človek in robot delata v istem delovnem prostoru na istem sestavu hkrati in je vsak osredotočen na svoja ločena opravila, tako da si delita prostor in delovne operacije in se oba gibljeta;
- ▶ odzivno sodelovanje, kadar morata človek in SR opravilo izvajati skupaj, posledica aktivnosti enega je takoj delovanje drugega, največkrat robot podpira dejavnost človeka, kot na primer pri manipulaciji težkih sestavnih delov oziroma sestavov.

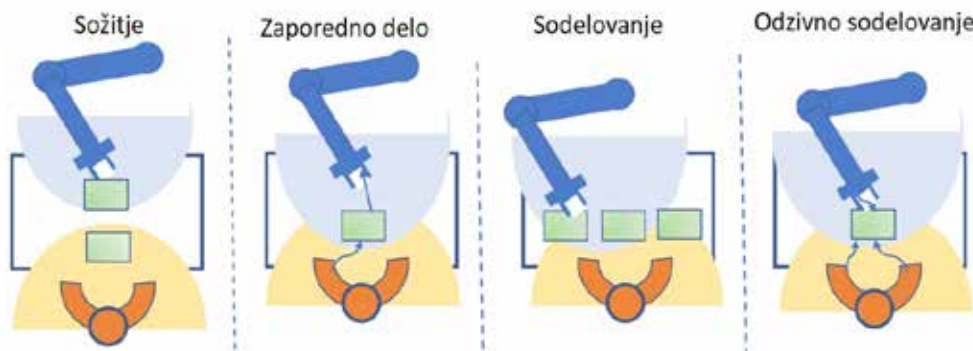
4 Značilnice sodelujočih robotov

Uvajanje SR v montažo so vseskozi vodile želje, kot so povečanje produktivnosti, razbremenitev človeka opravil, ki vodijo k poklicnim boleznim, na eni strani ter možnosti hitre integracije robotov v proces montaže, možnost hitrega prilagajanja montaže novih izdelkov kakor tudi učinkovitega vračanja vloženi sredstev.

Izčrpna analiza skupine avtorjev, ki je bila objavljena v reviji Robotics, obravnava raziskave ter primere uporabe SR v proizvodnji v zadnjih desetih letih [9]. Nesporno je potencial SR prav v fleksibilnosti enostavnega, hitrega in cenovno ugodnega spreminjanja tlorisra v proizvodnji. SR so zasnovani tako, da jih je lahko enostavno reprogramirati, da ne poškodujejo človeka, da se lahko enostavno integrirajo v obstoječi sistem, da se učijo, če je to mogoče.

Skoraj vsi znani proizvajalci industrijskih robotov so razvili enega ali več SR. Na osnovi nekaterih najpogostejše uporabljenih SR je mogoče predstaviti nekaj skupnih značilnic [6, 8 in 10-14]:

- ▶ V večini imajo sodelujoči členkasti roboti od štiri do sedem osi. Dodatno imajo še nekaj prostostnih stopenj v zapestju (spherical wrist).
- ▶ Nosilnost je v mejah med 0,5-16 kg, dva proi-



Slika 5 : Načini sodelovanja človeka s SR

zvajalca imata v svojem programu SR z nosilnostjo 20 oziroma 35 kg. Nekatere objave razdelijo SR v tako imenovane lahke SR in SR z večjo nosilnostjo.

- ▶ Proizvajalci podajajo skupni doseg oziroma doseg ene roke. Najmanjši doseg je okrog 400 mm in največji do 1500 mm.
- ▶ SR je mogoče razvrstiti v dve skupini, prva je s ponovljivostjo pozicije $\pm 0,1$ mm in druga $\pm 0,02$ – $\pm 0,04$ mm.
- ▶ Glede na to, ali imajo vgrajene senzorne in ustrezne krmilne sisteme, so roboti lahko opremljeni z merilnikom pozicije oz. kota zasuka (z enkoderjem) in z merjenjem napetosti, z merilnikom sile, merilnikom momentov v vsaki osi in senzori za dotik (občutljiva koža).
- ▶ Montažni sistemi z uporabo SR imajo v primerjavi z IR lahko še dodatno prigraden računalniški vid (kamere), laserski sistem, sistem za preprečevanje trkov, sistem za zaznavanje glasovnih ukazov in/ali sistem za koordinacijo SR s človeškim operaterjem, ko se premikata skupaj.

5 Varnost

Za zagotovitev varnosti človeka v sodelovanju s SR so poudarjene naslednje strategije [15]:

- ▶ Varnost pred trkom mora zagotoviti, da je trk SR s človekom ali prepreko varen in krmiljen. Glavni cilj je omejitev sile, s katero SR deluje na človeka ob trku.
- ▶ Za aktivno varnost s pravočasno detekcijo nezbežnega trka med napravo in človekom ter zaustavitve operacije v krmiljenem načinu se uporabljajo približevalni senzori, robotski vid, senzori sile/dotika.
- ▶ Prilagodljiva varnost za poseganje v delovanje strojne opreme naprave in izvajanje korektivnih ukrepov, ki omogočajo izogibanje trkom brez prekinjanja operacije oziroma zaustavitve naprave.

V ta namen so izdelani nacionalni in internacionalni standardi, direktive in zakoni, ki omogočajo graditeljem sistemov, kjer se uporabljajo SR, potrebno vgraditev varnosti.

Varni uporabi SR je posvečen mednarodni standard ISO/TS 15066:2016 (posodobljen 2019): Robots and Robotic Devices, Collaborative Robots [16]. Podane so zahteve sodelujočih metod, ki so bile že vključene v tehnični standard UNI EN ISO 10218-2:2011.

Na osnovi teh standardov so definirane štiri zahteve za SR:

- ▶ Varna zaustavitev (Safety-rated monitored stop – SMS) se uporabi takrat, ko se robot giblje v skupnem delovnem prostoru, preden vanj vstopi operater, da bi skupaj z robotom opravil ozi-

roma zaključil delo. Takšen način se značilno uporablja, kadar robot večino dela opravi sam, operater pa le občasno vstopi v njegov oziroma skupni delovni prostor.

- ▶ Ročno vodenje (hand-guiding – HG), pri katerem operater uporabi napravo za ročno vodenje, nameščeno blizu robota ali na koncu robotske roke, in tako prenese ukaze za gibanje v krmilni sistem robota.
- ▶ Nadzor hitrosti in ločevalne razdalje (Speed and separation monitoring – SSM) se uporabi tam, kjer se robotski sistem in operater lahko gibljeta sočasno v prostoru sodelovanja. Zmanjšanje tveganja se doseže s stalnim vzdrževanjem najkrajše varne razdalje med operaterjem in SR. Med gibanjem se robot nikoli ne približa operaterju bližje, kot je opredeljena varna razdalja. Robot se mora ob približevanju in krajšanju razdalje pod varno razdaljo ustaviti. Če se operater oddaljuje od robotskega sistema, robot to zazna in avtomatično nadaljuje svoje gibanje v smislu tega pravila. Če se hitrost gibanja SR zmanjša, se ustrezno skrajša varnostna razdalja.
- ▶ Omejitev moči in sil (Power and force limiting – PFL) – robotski sistem je zasnovan tako, da robot pri polstatičnih in prehodnih kontaktih ne preseže primernih mejnih vrednosti, ki so določene v oceni tveganj za operaterja oziroma delavca.

Seveda se pri tem mora upoštevati, da v montažni sistem niso vgrajeni samo SR, temveč tudi druge naprave, kot so na primer električni privijalniki, električni vpenjalniki in podobne naprave, ki vsaka zase predstavlja svoje tveganje.

Objave o raziskavah uporabe posameznih metod sodelovanja v letu 2018 podajajo, da so vse obravnavane metode uporabljane pri sodelovanju človek-robot dokaj enakomerno zastopane, rahlo več je objav o ročnem vodenju (HG) [5]. To nakazuje, da je raziskovalce najbolj zanimala pomoč robotov pri stregi in prenašanju težjih bremen.

6 Začetni koraki pri uvajanju SR v proces montaže

Čeprav SR še niso dolgo na trgu in primerov dobre prakse uporabe SR v montaži ni na pretek, je mogoče na osnovi objav pripraviti nekaj smernic za njihovo učinkovito uporabo. Prav gotovo ima na področju uporabe SR v montaži največ izkušenj podjetje Universal Robots kot pionir pri razvoju SR, ki je na svoji spletni strani opisalo deset korakov k uspešnemu začetku uvajanja SR [18].

Pozornost pri načrtovanju montažnih sistemov z vključevanjem montažnih mest, kjer sodelujeta delavec in SR, je namenjena predvsem:

- ▶ procesu oziroma operacijam, ki jih lahko SR prevzame samostojno ali v sodelovanju z delavcem,

- ▶ zahtevanim časom montažnih operacij in času montažnega cikla,
- ▶ zahtevani nosilnosti in dimenzijam delovnega prostora,
- ▶ obliki, dimenzijam in lastnostim sestavnih delov in sestavov ter njihovi urejenosti,
- ▶ orodju in prijemalom,
- ▶ varnosti delavcev,
- ▶ povezljivosti in vključevanju v montažni sistem, možnosti prilagajanja novim zahtevam,
- ▶ načinu in hitrosti programiranja,
- ▶ okolju, kjer bo SR deloval, in njegovi zaščiti,
- ▶ pogledu v prihodnost.

SR so v osnovi stroškovno učinkoviti, varni in prilagodljivi. Z njimi je avtomatizacija proizvodnje enostavna tako v velikih kot majhnih podjetjih.

Primernost avtomatizacije montažnih operacij s SR je različna. Idealni za avtomatizacijo so ponavljajoči se ročni procesi, ki ne zahtevajo delavčevih spretnosti, kritičnega razmišljanja in trenutnih odločitev. Med temi operacijami so: vodenje orodij, dodajanje obdelovancev, operacije primi-odloži, tudi operacije, ki lahko povzročajo poklicne bolezni zaradi prisiljenih in ergonomsko neugodnih gibov delavcev, ali operacije, ki zahtevajo stike z nevarnimi deli strojev.

Pri prvem projektu uvajanja SR je smiselno poiskati čim enostavnejše procese za avtomatizacijo. Zahtevni in obsežni procesi zahtevajo veliko znanja in izkušenj ter pogosto tudi zunanjo podporo, kar lahko hitro postane ekonomsko neopravičljivo.

SR opravljajo enostavne operacije približno z enakim tempom kot delavci, zato se pretočni časi z uvedbo robotov ne bodo bistveno spremenili. Povečana hitrost robota, kot jo dosegajo delavci, lahko zahteva dodatne ukrepe za zavarovanje delavcev. Povečanje produktivnosti bo doseženo predvsem zaradi neprekinjenega dela SR, ki v osnovi ne potrebuje odmorov, ter zaradi skrajšanja časov operacij, ki so v delovnem ciklu najdaljše. SR lahko prevzamejo operacije v delovnem ciklu, ki so vzrok za utrujenost delavcev, npr. zaradi ponavljajočih se gibov, ergonomsko neprimernih gibov. Delavci se lahko posvetijo opravilom, ki pomenijo večjo dodano vrednost, na primer sprotni kontroli.

SR so v splošnem različnih velikosti, vendar je njihov največji doseg do 1500 mm in lahko premikajo mase do 15 kg. V skupni nosilnosti je treba upoštevati tudi maso prijemal oziroma orodij. Za opravila, ki zahtevajo večje dosege, je mogoče uporabiti več SR ali pa spremeniti razporeditev znotraj montažnega mesta (tloris) tako, da bo proces lahko potekal znotraj dosega samo enega robota. Robote je treba naučiti razumnih poti in posvetiti pozornost obremenitvam.

Oblika in dimenzije sestavnih delov naj bodo enostavno opredeljene, da jih prijemala lahko prijemajo.

Za enostavno programiranje prijemanja je treba postaviti kose in sestave v isti položaj na mizi ali traku, tako da lahko robot gibe stalno ponavlja. Lahko se postavijo v urejeno matriko (na traku ali v zaboju) tako, da se robot postavi v začetni in končni položaj in doda število kosov v vrsti in stolpcu. Nekateri SR imajo celo programirane sposobnosti paletiranja. Če je le mogoče, se je treba izogibati vključevanju robotskega vida ali senzorjev za identifikacijo delov in položajev sestavnih delov za prijemanje. Strega delov z odstopanji v obliki in dimenziji ali neurejen položaj (neurejeno hranjenje v zaboju) je sicer mogoča, vendar je zelo kompleksna in stroškovno neugodna.

Prijemala in končni efektorji so na robotski roki za ustvarjanje stika s sestavnimi deli in stroji. To so lahko vakuumska prijemala, dvoprstna prijemala za prijemanje sestavnih delov, orodje za točkovno varjenje, razpršilnik barve ali karkoli, kar potrebuje zahtevana aplikacija. Na voljo so številna standardna prijemala in z uporabo aditivnih tehnologij oz. 3D tiskalnikov je mogoče izdelati namenska prijemala ali pa jih naročiti pri specializiranih dobaviteljih. Uporaba univerzalnega prijemala za več različnih prijemancev je privlačna, mogoče pa je več enostavnih prijemal cenovno ugodnejše.

SR so konstruirani in izdelani tako, da delujejo varno v sodelovanju z delavcem. Vendar je treba upoštevati vse ukrepe za varnost, ki so predvideni v ustreznih standardih in priporočilih. Ocena tveganja mora opredeliti ustrezno interakcijo človeka in SR za vsak posamezen primer. Varnostni ukrepi vključujejo gibanje, hitrosti, dele z ostrimi robovi in uporabo različnih orodij. Pri zahtevanih večjih hitrostih SR je potreben premislek o varnosti, mogoče je treba dodati lahke zavesse ali senzorski sistem za zmanjšanje hitrosti ali zaustavitev roke robota, kadar delavec stopi v delovni prostor. Delavci in SR morajo imeti natančno določen prostor in način medsebojnega sodelovanja. Orodja in prijemala zahtevajo dodatne varnostne ukrepe.

Razmisliti je treba, s katerimi stroji bo SR prišel v stik in kako bo ta stik izveden. Ali bo SR le nadomestil delavčeve posege na stroju, kot so odpiranje vrat stroja, pritisk na gumb, dodajanje in odvzemanje kosov, ali pa bo potreben tesnejši stik med strojem in robotom. Bolj tesno in kompleksno bo sodelovanje robota s strojem, bolj kompleksen bo proces avtomatizacije.

Tesnejše sodelovanje SR z montažnim sistemom bo enostavnejše z vgrajenim digitalnim I/O-krmilnikom ali ethernetnim komunikacijskim protokolom, kot je to EthernetIP. Za držanje kompleksnosti na minimumu naj bodo osnovni ukazi limitirani, kot so: start delovni cikel ali cikel zaključen.

Najenostavnejša je uporaba SR, kadar je ta pritrjen na določenem mestu, se ne premika po prostoru in



Slika 6 : Programiranje SR. Vir: [18].

opravlja vedno iste gibe in opravila. Lahki in enostavno programirani SR se lahko premikajo med montažnimi mesti – ali pa so nameščeni na mobilnih vozičkih, če je to priročno. Pri tem je treba vsakokrat, ko se SR premakne, lokalizirati njegov položaj glede na njegov delovni prostor, tako da bodo sestavni deli in stroji tam, kjer jih robot pričakuje. Krmilni program je lahko shranjen na konzoli in se lahko ponovno naloži s pritiskom na gumb.

Uvajanje SR v proces montaže postane kompleksnejše, če mora SR sodelovati z več stroji ali napravami. Enostavne operacije sestavnih delov »primi in odloži« s stalno obliko in v določenem položaju je mogoče programirati v nekaj minutah. Tudi prehod na druge operacije ali sestavne dele je lahko programiran hitro in enostavno. Po pravilu je enostavna avtomatizacija tistih procesov, ki jih robot opravi z enostavno in minimalno povratno informacijo zunanjih senzorjev ali krmilnikov. Proces programiranja je bolj kompleksen, če je treba vključiti robotski vid ali merilnike sile v robotski roki za razpoznavanje sestavnih delov ali naprave za povratne informacije pri nadzoru in krmiljenju robotskega delovanja in interakcij z drugimi stroji.

SR delajo v skoraj vseh okoljih, kjer lahko dela človek brez pritoževanja o temperaturi, hrupu ali umazaniji. Lahko delajo v različnih higienskih okoljih ali so celo certificirani za delo v čistih prostorih. Kot druge naprave tudi SR v ekstremnih okoljih potrebujejo dodatno zaščito, ki varuje robotsko roko pred zelo visokimi temperaturami, vlago, tekočinami, korozivno atmosfero, trdnimi delci, kot so umazanija, ostružki itd. Taka zaščita je na voljo v prosti prodaji, pri ekstremnih pogojih pa je avtomatizacija bolj zahtevna.

V začetku uvajanja SR v proces montaže ni dobra prevelika ambicioznost. Vendar to ne pomeni, da ni

treba misliti naprej. Po prvi uspešni aplikaciji in pri tem pridobljenih izkušnjah prične uporabnik ročne operacije gledati z drugimi očmi. Pri raziskavi razpoložljivih SR in oceni njihove ustreznosti trenutnim potrebam je smiselno imeti v mislih tudi prihodnje potrebe. Kmalu še tako daljnosežni projekti postanejo smiselni in rešljivi.

7 Sklep

Sodelovanje človeka in robotov v procesu montaže je dokaj novo področje industrijske robotike in si le korakoma utira pot v avtomatizacijo proizvodnje oziroma v avtomatizirane montažne sisteme. V primerjavi z industrijskimi roboti, za katere se zaznava rahel zastoj v prodaji, se pričakuje po podatkih VDMA večje povpraševanje po SR, še posebno, če so vgrajeni v montažne sisteme [19].

Montažni sistemi so prav gotovo na vrhu primerov uporabe sodelujočih robotov, predvsem zaradi visokega vračanja investicije, povečanja produktivnosti delavcev ter ustrezne fleksibilnosti. Tudi zelo spretni delavci ob sodelovanju robotov lahko povečajo svojo uspešnost pri delu.

Prispevek obravnava kratek zgodovinski pregled razvoja SR v svetu, zbrani so nujni standardi in predpisi za varno uporabo. Poudarek je tudi na možnosti uporabe SR v montažnih sistemih in kaj je mogoče pričakovati z njihovo implementacijo. Po številnih objavah raziskovalnih dosežkov so izpostavljene predvsem tiste raziskave, ki so najbolj zaposlovale raziskovalce in bodo prav gotovo v pomoč pri hitrejšem uvajanju SR v realno proizvodnjo. Pri tem bo prav gotovo v pomoč tudi povzetek smernic, ki jih je pripravil strokovni tim podjetja Univerzal Robotics (Danska).

Viri

- [1] Standard ISO 8373:2012 <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en:term:2.6>.
- [2] Demystifying Collaborative Industrial robots, International Federation of Robotics, december 1918. https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf.
- [3] Colgate, E. J. Michael Peshkin: COBOTS, United States Patent No. 5.952.796, 1999. <https://patents.google.com/patent/US5952796A/en>.
- [4] From robot to cobot, a look through history, WiredWorkers <https://wiredworkers.io/from-robot-to-cobot/>.
- [5] Collaborative robotics – history and recent trends, EU Automation01/08/20, 05:59 AM | Industrial Robotics, Mobile & Service Robots | cobots.
- [6] <https://www.universal-robots.com/case-stories/comprehensive-logistics/>.
- [7] <https://www.kuka.com/en-us/future-production/human-robot-collaboration>.

- [8] <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>.
- [9] E. Matheson, R. Minto, E. G. G. Zampieri, M. Faccio and G. Rosati: Human-Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review. <https://www.researchgate.net/publication/337807619>.
- [10] <https://www.staubli.com/en/robotics/>.
- [11] <https://industrial.omron.eu/en/products/collaborative-robots>.
- [12] <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial/assembly-handling/hc-series/hc10>.
- [13] <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi>.
- [14] <https://www.fanuc.eu/si/sl/roboti/stran-s-fil-trom-robotov/kooperativni-roboti>.
- [15] G. Michalos in drugi: Design Consideration for Safe Human-Robot Collaborative Workplaces, Proceedings CIRP 37 (2015), 248–253.
- [16] ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices — Collaborative robots <https://www.iso.org/standard/62996.html>
- [17] Maurtua and other: Human-robot collaboration in industrial applications: Safety, interaction and trust, I. J. of Advanced Robotic Systems, July 2017, P. 1–10.
- [18] Get started collaborative robots in 10 steps, Universal Robots, <https://info.universal-robots.com/en-us/get-started-with-cobots>.
- [19] VDMA: Nur Integrated Assembly Solutions wachsen, <https://automationspraxis.industrie.de/news/vdma-nur-integrated-assembly-solutions-wachsen/>.

Collaborative robots – development and engagement in the assembly process

Abstract:

Collaborative robots or cobots are becoming a common sight in industrial production. Even though some development still needs to be done they already efficiently support assembly process optimisation. To ease their inclusion in production, it makes sense to clarify their features and where their use is appropriate. Collaborative robots use must be safe and efficient, therefore they and their installation in assembly systems must meet safety standards. In any case it is justified to investigate what points should be considered to make the use of cobots effective and justified.

Keywords:

industrial robots, assembly, collaborative robots or cobots, workplace safety with robots, safety standards, cooperation human – robot

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN

MONTAŽE 2020 - ASM `20

www.posvet-asm.si

10. decembra 2020

na Gospodarski zbornici Slovenije

v LJUBLJANI