

Vijačenje s sodelujočim robotom

Simon Erjavec¹, Sebastjan Šlajpah², Primož Vidmar³, Marko Munih⁴, Matjaž Mihelj⁵

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: simon.erjavec@robo.fe.uni-lj.si

Screwing with a collaborative robot

Abstract.

A collaboration between a robot and an operator has numerous advantages. It ensures safety, enables lower costs, occupies less space and allows a robot and a human to jointly execute complex tasks.

A safe human-robot collaborative application requires safe robot, tool, and working environment. With non-collaborative tools it is typically more difficult to ensure safety and enable collaboration. An example of such application is automatic screwing with the sharp tool and screws. The screwdriver torque required for screwing also generates a safety concern.

The proposed solution to the problem of automatic robot-based screwing is based on mechanical safety protection. Protection covers the screwdriver and the screw and prevents the operator to come into contact with dangerous parts of the screwdriver. Protective mechanism is passively retractable. It is constructed such that it stacks under external force. In addition to mechanical protection, an additional level of safety is guaranteed by the programmed logic onto the Siemens PLC controller that works as a supervisory system.

Based on the completed tests of the system we can conclude that the solution is safe and appropriate for the collaboration application.

1 Uvod

Problematika avtomatiziranega vijačenja s sodelujočim robotom je, da imamo na varnem robotu nevarno orodje. Posledično to pomeni, da mora biti robot ograjen, saj aplikacija ni dovolj varna za sodelovanje s človekom. Glavni nevarnosti sta konica orodja ali vijaka in navor, ki je potreben za vijačenje.

V industriji je vedno več povpraševanja po avtomatiziranih opravilih, pri katerih bi lahko sodeloval tudi operater, vendar so ta zaradi nevarnih orodij težje izvedljiva. Zelo veliko zanimanje je tudi za varno vijačenje s sodelujočim robotom. Želja je, da bi si lahko robot in operater pri izvedbi naloge delila delovni prostor in po potrebi tudi sodelovala [1, 2].

Cilj je izvedba dodatnega varnostnega sistema, ki bi omogočal varno vijačenje in sodelovanje operaterja z robotom.

Predpostavljamo, da je za izvedbo sodelujoče aplikacije treba operaterju fizično omejiti dostop do nevarnih delov, ki so prisotni pri vijačenju. Hkrati domnevamo, da mora biti zaščita tudi senzorično podprta, da se v primeru kontakta z operaterjem lahko izvede ustavitev sistema.

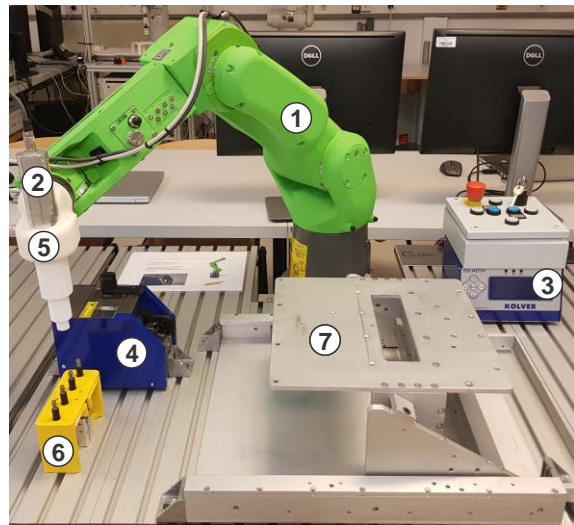
2 Metodologija

V sistem za vijačenje je vključeno veliko različnih naprav, ki skupaj z različnimi tehnikami in varnostnimi pristopi sestavljajo sodelujočo aplikacijo.

2.1 Uporabljene naprave

Celoten sistem za sodelujoče vijačenje prikazuje slika 1. Za izvedbo vijačenja smo izbrali sodelujočega robota Fanuc CR-7iA. Robot omogoča zaznavo trka z okolico na podlagi senzorja sile, ki je nameščen v bazi robota. Maksimalna nosilnost robota je 7 kg. Sodelovalna hitrost, katero lahko doseže, je 500 mm/s [3].

Ker smo želeli imeti prilagodljiv sistem, kjer bi lahko vijačili različne vijake, smo za vijačenje uporabili vijačnik s krmilnikom. Prav tako smo izbrali tudi Kolverjev prilagodljiv sistem za podajanje vijakov. Podajalnik omogoča podajane vijakov M1-M5 različnih dolžin z različnimi glavami.



Slika 1: Prikaz uporabljenih naprav: 1 - robot Fanuc CR-7iA, 2 - vijačnik Pluto, 3 - krmilnik vijačnika Kolver, 4 - podajalnik vijakov Kolver, 5 - varnostni mehanizem, 6 - podajalnik orodja, 7 - obdelovanec.

Za dodatno varnost smo razvili varnostni mehanizem vijačnika in v sistem vključili nadzorni PLC krmilnik Siemens. Nadzorni sistem se uporablja za vodenje varnostnega mehanizma in za nadzor delovanja robota ter krmilnika vijačnika.

Zaradi vijačenja z različnimi nastavki smo v aplikacijo vključili tudi podajalnik orodja, ki smo ga skonstruirali sami.

2.2 Opis uporabljenih metod in tehnik

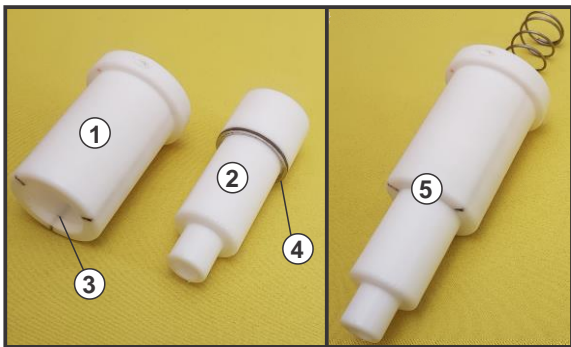
K vijačenju s sodelujočim robotom smo pristopili z naslednjimi metodami in tehnikami:

- metoda za zagotovitev dodatne varnosti,
- tehnika menjave orodja,
- tehnika pobiranja vijakov,
- tehnika vijačenja vijakov.

Metoda za zagotovitev dodatne varnosti

Ker vijačnik z vijakom predstavlja nevarno orodje, smo razvili varnostni mehanizem, ki onemogoča, da bi med izvajanjem naloge operater lahko prišel v stik z vijakom.

Varnostni mehanizem vijačnika je prikazan na sliki 2. Sestavljen je iz dveh tulcev, ki v iztegnjenem stanju prekrijeta vijak.



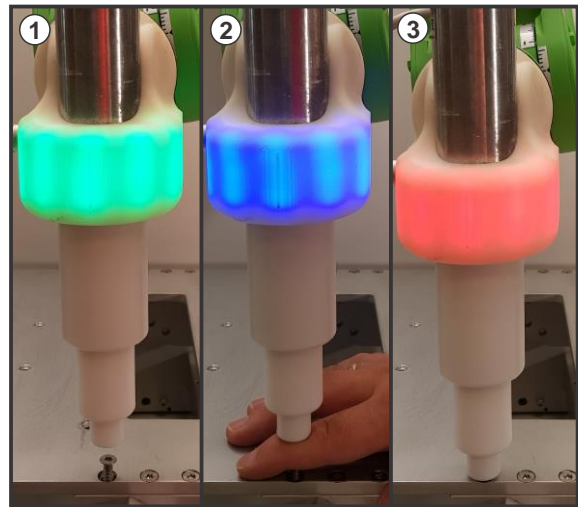
Slika 2. Prikaz varnostnega mehanizma vijačnika:
1 - zgornji tulec, 2 - spodnji tulec, 3 - kontakti na notranji strani tulca, 4 - prevodni obroč za povezavo kontaktov, 5 - sestav.

Iz zgornje slike je razvidno, da ima zgornji tulec v spodnjem delu integrirane tri kontakte. Prav tako je razvidno, da ima spodnji tulec na zgornjem delu nameščen prevodni obroč. Ko sta tulca v iztegnjenem stanju, se trije kontakti sklenejo.

PLC krmilnik Siemens prebere stanje treh kontaktov. Delovanje robota je omogočeno, ko je na vseh kontaktih visoko stanje. S tem je zagotovljena varnost tudi ob morebitnih deformacijah varnostnega mehanizma ali ob prekinitvi napajanja. Sistem je zaradi treh kontaktov občutljiv tudi na dotik s strani.

Slika 3 prikazuje končni videz varnostnega mehanizma na vijačniku. Z integrirano barvno osvetlitvijo, ki prikazuje trenutna stanja.

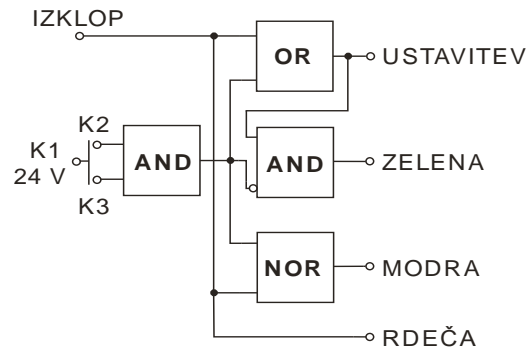
Z barvno osvetlitvijo operaterju med izvajanjem naloge sporočimo, kakšno je stanje varnostnega mehanizma in ga s tem tudi dodatno opozarjamo, kdaj ni primerno biti v stiku z robotom. S tem je zagotovljena dodatna varnost.



Slika 3. Prikaz končnega izgleda varnostnega mehanizma:
1 - vključen varnostni mehanizem (zeleno svetlo) 2 - v kontaktu z operaterjem (modro svetlo). 3 - izklopljen varnostni mehanizem med vijačenjem (rdeče svetlo).

Logika delovanja varnostnega mehanizma je podrobneje prikazana na sliki 4. Na levi strani slike lahko vidimo, da se preverja, če so vsi kontakti na tulcu sklenjeni.

Z leve strani slike je razvidno tudi, da imamo signal za izklop delovanja varnostnega mehanizma, katerega namenoma prožimo ob primernem času, ko je zagotovljena varnost in operater ne more priti v stik z orodjem. Tipično se to izvede pri vijačenju, ko je treba ignorirati kontakt varnostnega mehanizma s površino, v katero vijačimo.

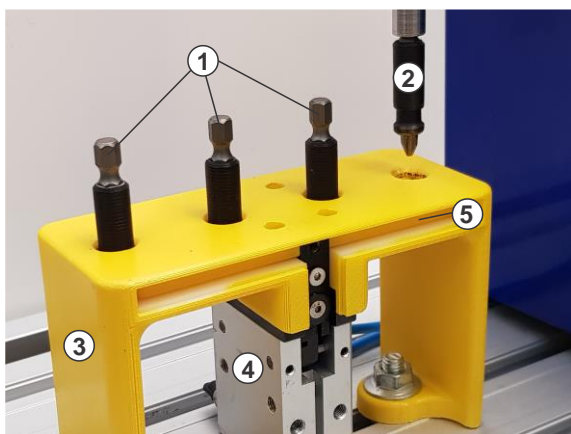


Slika 4. Prikaz logike varnostnega mehanizma.

Logika varnostnega mehanizma je takšna, da ko je varnostni mehanizem vključen in ko so kontakti sklenjeni, sveti zeleno. V primeru, da je varnostni mehanizem vključen in v kontaktu z operaterjem, sveti modro. Če varnostni mehanizem izklopimo, sveti rdeče.

Tehnika menjave orodja

Ker je bila želja vijačiti različne vijake, smo poskrbeli, da lahko preprosto menjujemo tudi orodje na vijačniku. Podajalnik orodja smo izdelali sami. Zgradba podajalnika je podrobneje razvidna iz slike 5.



Slika 5. Prikaz podajalnika orodja: 1 - orodje za vijachenje, 2 - tulci, 3 - stojalo za orodje, 4 - pnevmatsko prijemalo, 5 - prsti prijemala za zaklep tulcev.

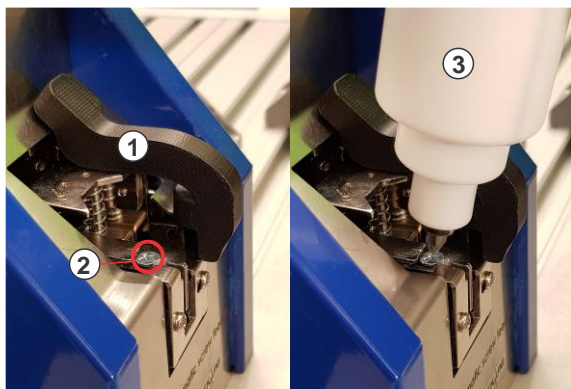
K menjavi orodja smo pristopili tako, da smo orodje obdali s primerno oblikovanimi tulci z utori za lažji prijem. Za prijem orodij smo izbrali pnevmatsko prijemalo, ki je skupaj s prsti vgrajeno v podajalno mizo. Prsti so primerno oblikovani, da zagotovijo zanesljiv prijem tulcev.

Menjava orodja poteka tako, da se z vijacnikom pri nizkih vrtljajih približujemo k orodju. Ko se po obliki orodje ujame z magnetnim podaljškom na vijacniku, prijemalo popusti in orodje se fiksira v podaljšek. Robot se nato z vijacnikom umakne in varnostni mehanizem pokrije orodje.

Tehnika pobiranja vijakov

Glavna težava pri pobiranju vijakov je predvsem nezanesljiva lega in orientacija vijaka. Težava pa se pojavi tudi pri pobiranju vijakov z varnostnim mehanizmom, ki prekriva orodje.

Težavo z varnostnim mehanizmom smo rešili tako, da ga z distančnikom, ki je razviden iz slike 6, odmaknemo. Distančnik je primerno oblikovan, da omogoča pobiranje vijaka pod različnimi nakloni vijacnika.



Slika 6. Prikaz podajalnika vijakov: 1 - distančnik, 2 - glava vijaka, 3 - varnostni mehanizem vijacnika.

Vijake smo pobirali z magnetnimi nastavki pod naklonom 80°. Pristop je bil takšen, da smo v neposredni bližini glave vijaka pri velikih hitrostih vrtenja vijacnika počasi spuščali orodje. Rezultat

pristopa je bil, da se je vijak prilagodil legi orodja. Zanesljivost pobiranja vijakov smo ocenili na podlagi 1000 ponovitev. V času testiranja se je pobiranje izkazalo za zelo zanesljivo, saj je bila uspešnost 100-odstotna. Na podlagi rezultatov smo ocenili, da je takšen pristop manj občutljiv na lego vijaka.

Tehnika vijachenja vijakov

Pri vijachenju vijakov s sodelujočim robotom se je pojavila težava kako zagotoviti dovolj veliko silo, ki onemogoča zdrs nastavka na glavi vijaka in hkrati dovolj majhno silo, da se robot ne ustavi.

Ko robot pobere vijak, se z vijacnikom postavi nad navojno izvrtino, v katero bo vijacil. Ko je vijacnik dovolj blizu, da operater ne more poseči med varnostni mehanizem in površino ($D = 5$ mm), v katero vijacimo, se varnostni sistem vijacnika izklopi. V tem trenutku varnostni sistem sveti rdeče. Zažene se vijacnik in se s primerno hitrostjo linearno približuje izvrtini. Tik preden je vijak v celoti privijačen, izklopimo sodelujoči način robota, da lahko na vijak delujemo z večjo silo.

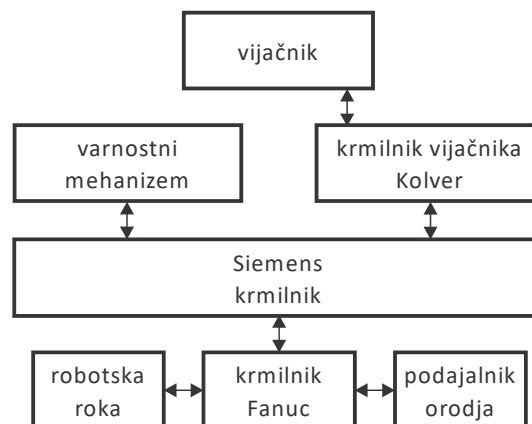
Takoj, ko se vijachenje uspešno izvede, se sodelujoč način ponovno vključi. Vijacnik se umakne od točke vijachenja, nato pa se vključi tudi varnostni sistem vijacnika.

Poudariti je treba, da je kljub izklopu sodelujočega načina programsko urejeno, da se robot ustavi, ko prekorači vnaprej določeno silo. V našem primeru je ta sila 60 N. S tem preprečujemo, da bi lahko prišlo do mehanskih okvar v primeru, da se vijachenje ne bi uspešno izvedlo.

3 Integracija sistema

Princip delovanja sistema je prikazan na sliki 7. Za pravilno delovanje celotnega sistema skrbi krmilnik PLC, ki deluje kot nadzorni sistem.

Robot Fanuc je na krmilnik PLC povezan preko komunikacije Ethernet IP in preko digitalne varnostne vhodno-izhodne linije. Preko varnostne linije je omogočen popoln nadzor nad delovanjem robota. Robot je povezan tudi na podajalnik orodja, in sicer preko digitalnega izhoda.



Slika 7. Prikaz vezave celotnega sistema.

Varnostni mehanizem je povezan s krmilnikom PLC preko digitalne vhodno izhodne linije. Logika delovanja

varnostnega mehanizma je na krmilniku PLC. To vključuje barvno osvetlitev in nadzor nad stanjem kontaktov v varnostnem mehanizmu.

Vijačenje se izvaja z vijačnikom Pluto 6, katerega krmilimo preko krmilnika Kolver. Na krmilniku se vnaprej določijo zahteve za vijačenje posameznega vijaka. Nato se proži program, ki ga potrebujemo. Krmilnik vijačnika je prav tako povezan na nadzorni sistem preko digitalnih vhodno/izhodnih linij. Takšna vezava je smiselna zaradi varnosti pri vijačenju, saj je v nekaterih primerih ob ustavitvi robota treba zagotoviti, da se ustavi tudi vijačnik. Ob ponovnem zagonu pa je zaželeno, da se tudi vijačnik zažene nemoteno. S tem dosežemo, da je vijačenje zanesljivo, tudi če pridemo v kontakt z robotom med samim vijačenjem.

4 Razprava

Cilj, ki smo si ga zadali, je izvedba aplikacije vijačenja, v kateri si robot in operater delita delovni prostor (slika 8). Glavna težava je bila predvsem zagotoviti zanesljiv varnostni sistem, ki bi omogočal, da je operater pri vijačenju lahko prisoten, kljub temu da gre za nevarno orodje in nevarno nalogo.

Pristop, ki smo ga izvedli se je izkazal za uspešnega, saj varnostni mehanizem kljub svoji enostavnosti, predstavlja zelo varen sistem. Operaterju je namreč fizično onemogočeno, da bi lahko prišel v kontakt z orodjem ali vijakom, hkrati pa se ob dotiku varnostnega mehanizma ustavi delovanje celotne aplikacije.

K varnosti pripomore tudi krmilnik PLC Siemens, ki v aplikaciji deluje kot nadzorni sistem, preko katerega teče komunikacija med napravami.

Implementiran sistem se je izkazal za varnega in primerneza sodelujočo aplikacijo.



Slika 8. Prikaz sodelovanja.

5 Zaključek

V okviru projekta smo izvedli sodelovalno aplikacijo, v kateri robot in operater sodelujeta pri vijačenju in si pri tem tudi delita delovni prostor. Spoznali smo, da je za zagotovitev varnosti pri vijačenju nujno potreben dodaten varnostni sistem, ki preverja, ali je v območju nevarnega orodja prisoten operater. Spoznali smo tudi, da je za varnostno logiko najbolj primerno zunanje krmiljenje, ki nadzoruje delovanje vseh naprav v sistemu.

Kljub uspešni izvedbi vijačenja, so možnosti tudi za nadgradnjo. Celotno aplikacijo bi bilo v nadaljnje smiselno nadgraditi s samodejno zaznavo obdelovanca s pomočjo strojnega vida.

Za bolj natančno in zanesljivo delovanje bi bilo smiselno nekatere naprave, ki so prisotne v aplikaciji, izdelati iz primernejših materialov.

Varnostni mehanizem bi bilo smiselno preoblikovati tako, da bi omogočal podajnost vijačnika pri vijačenju. S tem bi zagotovili, da vijačnik na vijak deluje vedno s primerno silo, ki bi bila ponovljiva, hkrati pa bi bilo s tem tudi samodejno poskrbljeno za sinhron pomik vijačnika glede na hitrost vijačenja. Prednost podajnosti vijačnika je tudi v tem, da pri morebitnih trkih zaradi umika vijačnika ne pride do poškodbe naprav.

Literatura

- [1] Kruger J, Lien TK, Verl A. Cooperation of human and machines in assembly lines. CIRP Annals - Manufacturing Technology 58:628–646; 2009.
- [2] Heyer C. Human-Robot Interaction and Future Industrial Robotics Applications. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2010;4749–54. “doi:10.1109/IROS.2010.5651294.”
- [3] Robot Fanuc CR-7iA, www.fanuc.eu/si/sl/roboti/stran-s-filtrom-robotov/kooperativni-roboti/collaborative-cr7ial, [Dostopno: 17. 07. 19].

Zahvala

Raziskovalni program št. P2-0228 je sofinancirala javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna. Gradniki, orodja in sistemi za tovarne prihodnosti / GOSTOP, OP20.00361, Št. pogodbe C3330-16-529000, 2016-20, naložbo sofinancirata Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj in Republika Slovenija.