

REKONFIGURABILNA IN MODULARNA ROBOTSKA CELICA ZA MALOSERIJSKO PROIZVODNJO

Martin Bem, Timotej Gašpar, Igor Kovač, Aleš Ude

Izvleček:

Uporaba robotov v maloserijski proizvodnji je težavna, saj je menjava serije izdelkov drag, časovno zamuden proces. Roboti se zato najpogosteje uporabljajo v velikoserijski proizvodnji, kjer dalj časa opravljajo iste naloge. Da bi omogočili robotizacijo maloserijske proizvodnje, ki je značilna za majhna in srednje velika podjetja (SME), je bila v sklopu evropskega projekta ReconCell razvita rekonfigurabilna robotska celica. Ta omogoča učinkovito avtomatizacijo izdelave majhnih serij raznolikih izdelkov. V članku so opisani mehanski in programski gradniki, ki omogočajo prilagajanje celice spreminjajoči se proizvodnji. Članek obravnava tudi rezultate validacije rekonfigurabilne celice na industrijskih primerih.

Ključne besede:

robotska montaža, rekonfiguracija, modularnost, fleksibilno vpenjalo

1 Uvod

Roboti se najpogosteje uporabljajo v velikoserijski proizvodnji z majhno raznolikostjo produktov. Glavni razlog za to je drag in zamuden proces menjave serije izdelkov. Klasični pristopi robotske proizvodnje zato za proizvodnjo raznolikih izdelkov niso primerni.

Ob tem je potrebno poudariti, da je robot sam izredno prilagodljiv. V primeru sprememb lahko tako robota s programiranjem naučimo nove naloge (znotraj njegovega delovnega prostora) brez potrebe po mehanskih spremembah. Vendar pa je programiranje robota proces, ki zahteva izobražen kader in je pogosto časovno potraten. V praksi bi bilo zelo neučinkovito izdelati program robota za serijo izdelkov, veliko nekaj deset kosov.

Periferni moduli robotske celice so v primerjavi z robotom slabše prilagodljivi. Pogosto so zasnovani za izdelavo enega samega produkta in jih je ob menjavi serije potrebno fizično zamenjati. Primeri takih elementov so vpenjalne priprave. Te so za proizvodno nalogo pogosto popolnoma specifične. Dodajanje novih funkcionalnosti v robotsko celico (npr. vijačenje, vtiskovanje, strojni vid ipd.) je pogosto težavno.

Da bi omilili vpliv zgoraj navedenih omejitev, je v sklopu projekta ReconCell nastala robotska celica naslednje generacije, prikazana na *sliki 1*. Ta uporablja fleksibilne in rekonfigurabilne pristope, s katerimi minimizira kompleksnost, stroške in čas, povezan z menjavo serije produktov.

Članek je sestavljen iz petih poglavij. Drugo poglavje opisuje inovativne mehanske elemente, uporabljene v rekonfigurabilni celici, tretje poglavje programske pristope, ki poenostavljajo programiranje robotov, četrto poglavje pa metode validacije inovativnih konceptov, predstavljenih v drugem in tretjem poglavju. Zaključki so predstavljeni v petem poglavju.

2 Rekonfigurabilna strojna oprema

Robotsko celico projekta ReconCell sestavljata dva robota UR10, pritrjena na rekonfigurabilno ogrodje. Ogrodje je opremljeno s konektorji Plug and Produce (PnP), na katere je mogoče priključiti periferne module. Ti dajejo celici funkcionalnosti, potrebne za izvršitev specifične proizvodne naloge.

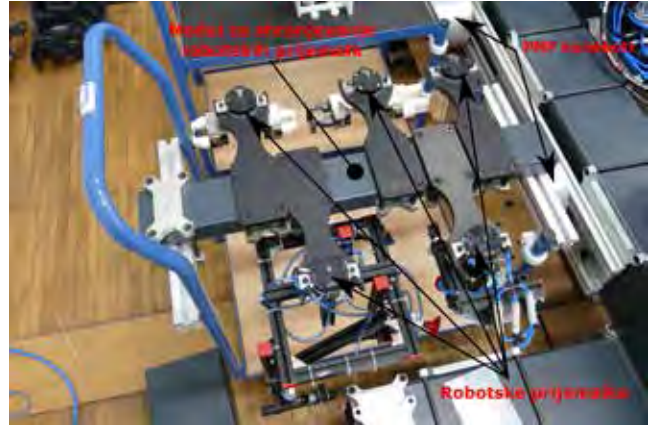
V celici ločimo dva mehanizma rekonfiguracije. Prvi je v celoti avtonomen in zato najhitrejši. Gre za t. i. robotsko podprto rekonfiguracijo, pri kateri robot izvede prilagoditev mehanskih elementov [1]. Elementa celice, ki uporabljata tovrstno rekonfiguracijo, sta rekonfigurabilno vpenjalo in pasivna linearna stopnja.

Drugi je mehanizem, ki uporablja konektorje Plug and produce, s katerimi je mogoče v celico dodajati periferne elemente. Ti dajejo celici funkcionalnosti, potrebne za uspešno izvršitev proizvodne naloge. Dodajamo jih ročno, zato je ta rekonfiguracija nekoliko počasnejša. Razvite rešitve, ki omogočajo omenjena mehanizma rekonfiguracije robotske celice, so podrobneje opisane v nadaljevanju poglavja.

Martin Bem, Timotej Gašpar, mag. inž. el., doc. dr.
Igor Kovač, univ. dipl. inž., prof. dr. Aleš Ude, univ.
dipl. inž., vsi Institut »Jožef Stefan«



Slika 1 : Rekonfigurabilna robotska celica



Slika 2 : PnP-modul za shranjevanje robotskih prijemalk

2.1 Rekonfigurabilno vpenjalo

Rekonfigurabilno vpenjalo je del robotske celice, ki natančno pozicionira in fiksira obdelovanec med izvajanjem robotskih operacij. Običajno so vpenjalne priprave zasnovane zgolj za en tip obdelovanca. V primeru menjave serije je potrebno vpenjalne priprave na novo zasnovati, izdelati in namestiti. Ta proces je drag, časovno zamuden in potrebuje kvalificirano delovno silo.

Da bi proces menjave serij pohitili, je v robotski celici uporabljena inovativna fleksibilna vpenjalna priprava. Ta temelji na pasivni Stewartovi platformi (hexapodu) in je produkt obsežnih predhodnih raziskav [3, 4]. V projektu je nastalo tudi odcepljeno podjetje, odgovorno za komercializacijo omenjene tehnologije [4].

Stewartov mehanizem, ki omogoča rekonfiguracijo vpenjala, je sestavljen iz dveh plošč, povezanih s šestimi pasivnimi cilindričnimi vezmi. Spodnja plošča mehanizma je toga pritrjena na ogrodje celice, zgornja pa ima (v odklenjenem stanju) šest prostostnih stopenj. Vsaka od šestih cilindričnih vezi je opremljena z hidromehansko zavoro, ki mehanizem zaklene. Paralelna narava mehanizma omogoča odlično togost v zaklenjenem stanju [2]. Rekonfiguracijo je mogoče izvesti ročno ali s pomočjo zunanjega mehanizma, npr. robota.

2.2 Tehnologija Plug and produce (PnP)

Plug and Produce je skovanka, ki temelji na izrazu Plug and Play. Ta na področju računalništva implicira enostavno priključitev perifernih naprav (npr. tiskalnika). V primeru PnP gre za način dodajanja perifernih modulov robotske celice, ki so specifični za določeno proizvodno nalogo. Ključna omogočitelna tehnologija je v projektu razvit PnP-konektor, ki je sestavljen iz dveh delov, od katerih je eden pritrjen na ogrodje celice, drugi pa na periferni modul.

Konektor omogoča ponovljivo mehansko sklopitev z ogrodjem in prenos podatkov (Ethernet), napajanja ter pnevmatike. Skladno s filozofijo interneta stvari (IoT) so moduli samostojni, saj vsebujejo krmilne in aktuacijske elemente, potrebne za svoje delovanje. Tako je mogoče hitro in preprosto menjati periferne module. Ko modul s PnP-konektorjem priključimo na ogrodje celice, je ta pripravljen za uporabo.

Primeri modulov, ki jih uporabljamo v montaži avtomobilskih žarometov, so: modul za shranjevanje sestavnih delov, modul za shranjevanje robotskih prijemalk in modul za vpenjanje ohišja luči. PnP-modul za shranjevanje robotskih prijemalk je prikazan na *sliki 2*.

2.3 Pasivna linearna stopnja

Linearne stopnje uporabljamo, ko želimo povečati delovno območje robota. Običajno so opremljene z aktuatorji, s katerimi pomikajo bazo robota, ter z merilnimi zaznavali, s katerimi določajo pozicijo. Takšne rešitve so zaradi potrebe po visoki natančnosti pomikov drage.



Slika 3 : Pasivna linearna stopnja

Za aplikacije, pri katerih se pomiki baze ne dogajajo pogosto, smo v projektu ReconCell razvili inovativno pasivno linearno stopnjo, prikazano na *sliki 3*. Slednja nima niti aktuatorjev niti merilnih zaznaval. Edini aktivni elementi so pnevmatske zavore, s katerimi se ohranja zelena lega baze. Pasivna linearna stopnja za premikanje uporablja merilni in aktuacijski sistem robota. Robot se z izmenjevalcem orodja mehansko spoji z okvirjem celice, sprosti zavore in premakne svojo bazo. S poznavanjem kinematike robota in kotov v sklepih je mogoče natančno izračunati novo pozicijo baze.

3 Programska oprema

Roboti se običajno programirajo neposredno z uporabo tovarniškega vmesnika, kar zahteva znanja, specifična za posameznega proizvajalca robota. V primeru izdelave novega programa celice podjetja pogosto najamejo zunanje izvajalce, kar povečuje stroške in pogosto podaljša čase menjave serij.

Da bi olajšali programiranje robotske naloge, smo v projektu razvili lasten programski sistem, ki temelji na intuitivnih metodah programiranja.

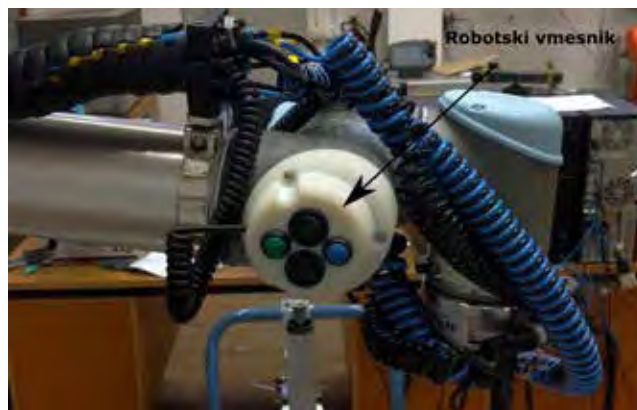
Celoten sistem robotske celice deluje znotraj sistema Robot Operating System (ROS) [5], za nizkonivojsko vodenje robota pa skrbi strežnik Matlab Simulink Real-Time (SLRT) [6]. ROS ponuja zanesljivo odprtokodno ogrodje, možnost razvoja programov na različnih platformah ter veliko zbirko knjižnic in orodij za razvijanje robotskih aplikacij, SLRT-strežnik pa skrbi za časovno kritične procese.

3.1 Kinestetično učenje robotskih nalog

V zadnjih letih se je na trgu pojavil trend uvajanja sodelujočih (kolaborativnih) robotov. Zanje je značilno, da so certificirani za sodelovanje s človekom brez potrebe po varnostnih ogradah. Ta tehnologija potrebuje za delovanje zaznavala navorov v vsakem robotskem sklepu. Podatke teh zaznaval je mogoče uporabiti tudi za t. i. kinestetično vodenje. Robote, sposobne kinestetičnega vodenja, je mogoče premikati po prostoru tako, da robota primemo in fizično premaknemo v zeleno lego. S pomočjo enkoderjev v sklepih in znanega kinematičnega modela je tako mogoče robota učiti proizvodne naloge.

V projektu uporabljen robot omogoča kinestetično vodenje. V projektu razvit sistem omogoča kinestetični zajem posameznih točk ali celotne trajektorije v sklepnih ali kartezičnih koordinatah. Sistem je neodvisen od proizvajalca in modela robota.

Izdelan je bil tudi vmesnik, nameščen na robotu, s pomočjo katerega je mogoče vključiti kinestetični način manipulacije robota ter shranjevati točke ali trajektorije. Prikazan je na *sliki 4*.



Slika 4 : Robotski vmesnik, ki omogoča vklop kinestetičnega učenja in zajem točk

4 Testiranje

Naslednje poglavje opisuje metode testiranja inovacij in dosežene rezultate. Večino inovacij smo preizkusili na primerih iz industrije ter tako pokazali njihovo aplikativno vrednost.

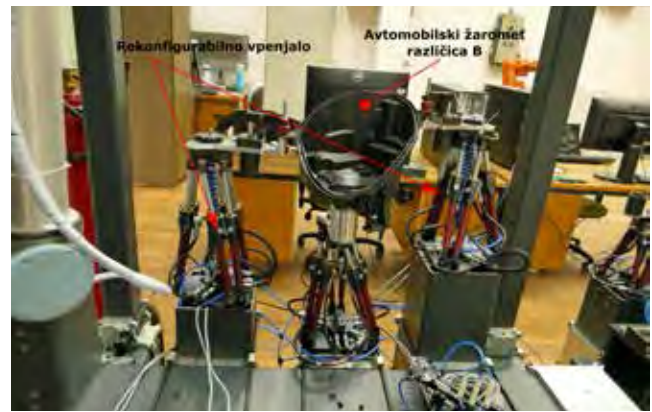
Fleksibilne vpenjalne priprave smo preizkusili na primeru montaže dveh različnih avtomobilskih žarometov. Za vpetje vsakega tipa žarometa smo v celici uporabili po tri rekonfigurabilne vpenjalne naprave (*slika 5*). Dve napravi sta bili opremljeni s pnevmatsko spono, ena pa je ohišje luči zgolj pasivno podprla.

Rekonfiguracija vpenjalne priprave za vpetje določenega modela žarometa je izvedena popolnoma avtonomno, brez človeškega posredovanja, in traja manj kot 3 minute. Na vpetih žarometih smo testirali tudi robotsko montažno nalogo. Pri obeh različicah žarometov smo robotsko montažno nalogo uspešno opravili. Tako smo pokazali, da tehnologija rekonfigurabilnih vpenjal omogoča avtonomno časovno učinkovito prilagoditev celice znotraj družine izdelkov.

Programiranje robotskih nalog je bilo izvedeno s pomočjo kinestetičnega učenja. Pri programiranju smo si pomagali z razvitim robotskim vmesnikom, prikazanim na *sliki 4*. Programiranje robotske naloge je bilo hitro in učinkovito, saj smo se izognili uporabi originalnega robotskega vmesnika.

PnP-tehnologijo smo eksperimentalno testirali tako, da smo celico, konfigurirano za montažo avtomobilskih žarometov, rekonfigurirali v robotsko celico povsem nove strukture in vsebine, v našem primeru namenjeno izdelavi motorjev za pametno pohištvo. Rekonfiguracija celotne celice je bila uspešna in je trajala manj kot 10 minut.

Pasivno linearno stopnjo smo testirali tako, da smo bazo robota premaknili iz ene v drugo skrajno lego. Ob premikanju smo s pomočjo zaznavala, nameščenega na vrhu robota, merili za pomik potrebno silo. Premik robota smo uspešno izvedli.



Slika 5 : Dva modela avtomobilskih luči, vpeta v rekonfigurabilno vpenjalo

5 Zaključek

V članku so predstavljene inovacije, s katerimi je mogoče robotsko celico hitro in preprosto prilagoditi na različne proizvodne naloge. Rekonfiguracijo mehanskih gradnikov dosežemo s pomočjo robotske podprte rekonfiguracije in PnP-modularnosti.

Robotsko podprta rekonfiguracija omogoča avtonomno prilagoditev mehanskih gradnikov na proizvodnjo podobnega produkta. Izvede jo robot, zato je hitra in avtonomna. Ker ne potrebujejo dodatnih aktuatorjev in merilnih zaznaval, so takšne rešitve tudi cenovno ugodne.

PnP-koncept robotski celici omogoča, da vanjo po potrebi dodajamo periferne module. Ti ji dajejo funkcionalnosti, ki so potrebne za izvršitev proizvodne naloge. Na ta način je mogoče celico prilagoditi na popolnoma drugačne proizvodne naloge.

V članku so opisane implementirane napredne metode programiranja robota. Učenje robotskih nalog s pomočjo kinestetičnega vodenja je intuitivno in ne potrebuje posebnega usposabljanja. Robotski vmesnik pa programiranje bistveno pospeši.

Inovativna načela celice so bila preizkušena na nalogah iz industrije. Rezultati so pokazali velik potencial, saj razviti koncepti omogočajo učinkovito robotsko proizvodnjo raznovrstnih izdelkov. To je v

današnjem času nepogrešljivo, saj postajajo posamezniku prilagojeni izdelki zaradi svoje visoke dodane vrednosti pomembna tržna niša.

Literatura

- [1] M. Goeidl, I. Kovač, and A. Frank, "A robot guided reconfigurable assembly system," presented at the 3rd International Conference on Reconfigurable Manufacturing, Ann Arbor Michigna USA, 2005.
- [2] M. Bem et al., "Reconfigurable fixture evaluation for use in automotive light assembly," presented at the International Conference on Advanced Robotics, Hong Kong, 2017, pp. 61-67.
- [3] M. Gödl, I. Kovač, A. Frank, A. Rechberger, and K. Haring, "New robot guided fixture concept for recongurable assembly systems," presented at the International Conference on Changeable, Agile, Recongurable and Virtual Production, München, Garching, Germany, 2005.
- [4] "Home," FlexHex Robot. [Online]. Available: <http://flexhex-robot.com/>. [Dostop: 1. dec. 2017]
- [5] M. Quigley et al., "ROS: an open-source Robot Operating System," in ICRA workshop on open source software, 2009, vol. 3, p. 5.
- [6] "Simulink Real-Time - Simulink - MATLAB & Simulink." [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/simulink-real-time.html>. [Dostop: 14. marec]

Specific Gripper Implementation for Gripping and Visual Control

Abstract:

The use of robots in few of a kind production is difficult because batch changeover is an expensive and time-consuming process. Robotic production, is therefore commonly used in large-scale production, where robots execute the same production tasks for a longer period of time. In order to enable the robotization of few of a kind production, common in small and medium enterprises (SME) the next generation of robotic cells was developed as part of the ReconCell project. The cell is capable of efficiently producing small batches of personalized products. The paper describes mechanical and software elements of the cell as well as the results of testing the the innovations on real life industrial applications.

Keywords:

Robotic assembly, reconfiguration, modularity, flexible fixture