



IMPLEMENTACIJA ROBOTSKE ČELIJE SA AUTOMATSKIM OPSLUŽIVANJEM 3D ŠTAMPAČA I MAŠINSKE OBRADNE RADNOG PREDMETA

IMPLEMENTATION OF ROBOTIC CELL WITH AUTOMATED LOADER FOR 3D PRINTER AND MACHINE PROCESSING OF WORK OBJECT

Nemanja Milovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – Razvijena je i implementirana konfiguracija robotske ćelije za opsluživanje 3D štapača i mašinska obrada predmeta rada, glodanjem. Opsluživanje štampača realizovano je pomoću industrijskog robota sa hvataljkom. Sa drugim industrijskim robotom koji poseduje pneuamtsku glodalicu implementirana je mašinska obrada. Ispitana je funkcionalnost ćelije, i doneti su odgovarajući zaključci.

Ključne reči: Roboti, 3D štampa, PLK.

Abstract – In this paper is shown implementation and development of a robot cell configuration for serving 3D printer and machining of the workpiece by milling. Industrial robot with gripper is used for printer serving. Another industrial robot with pneumatic mill is used for machining. Functionality of the robot cell is tested and some conclusions are made.

Keywords: Robotic, 3D printer, PLC.

1. UVOD

Proces 3D štampe je relativno mlada i moderna tehnologija proizvodnje trodimenzionalnih objekata. Za sada postupak 3D štampe ima najveću primenu u kreiranju maketa odnosno prototipova delova iz razloga što dobijeni objekti u velikoj meri verno reprodukuju izgled i funkcionalnost gotovog proizvoda. Takođe, postupak 3D štampe omogućava izradu predmeta gotovo proizvoljnog oblika, a vreme izrade je kraće nego kod tradicionalnih metoda.

Postoji nekoliko različitih tehnologija 3D štampe, međutim najrasprostranjenija je tehnologija modeliranja taložnim stapanjem, ili skraćeno FDM (eng. Fused Deposition Modeling). Ova tehnologija podrazumeva istiskivanje tankog vlakna istopljene plastike kroz mlaznicu. Razvojem ove tehnologije 3D štampači postaju sve jeftiniji i rasprostranjeniji.

Međutim ova tehnologija nije savršena, da bi finalni predmet imao zamišljen oblik prvi sloj materijala se mora zalepiti za podlogu za štampanje. U protivnom dolazi do podizanja i krivljenja materijala, odnosno do odstupanja od željenih dimenzija i oblika predmeta. Da bi se rešio taj problem prvi sloj materijala predstavlja tanku adhezivnu podlogu koja okružuje predmet i time povećava kontaktnu

površinu sa podlogom za štampu. Takođe u zavisnosti od orijentacije, rupe i otvori na predmetu moraju imati potporu inače bi se istopljena plastika urušila. To znači da je predmet nakon završetka procesa 3D štampe, a pre upotrebe, potrebno obraditi i ukloniti višak materijala. 3D štampanje se više ne koristi samo za prototipe. Takođe je efikasan za proizvodnju serija proizvoda.

Zbog sve većeg broja proizvoda, razvijaju se farme 3D štampanja. Farma štampanja ili štampana ćelija je objekat od više 3D štampača koji se koriste za proizvodnju predmeta rada.

Upravljanje farmom za štampanje je zapravo iznenađujuće jednostavno i može ga održavati i nadzirati samo jedan zaposlenik punog radnog vremena. Tehnologija napreduje, pa tako i u 3D farmama, potreba da se u potpunosti automatizuje ovo postrojenje, uvode se roboti u procesu opsluživanja 3D štampača.

Industrijski robot je prema Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju definisan kao „automatsko upravljani reprogramabilni višenamenski manipulator sa tri ili više upravljanih osa, koji može biti nepokretan ili pokretan u odnosu na podlogu i koji se koristi u zadacima industrijske automatizacije“. Razlog zbog kojeg savremena industrijska proizvodnja podrazumeva primenu industrijskih robota je taj što roboti zadatke obavljaju brzo i precizno.

Takođe, za razliku od čoveka, roboti se ne zamaraju pa repetitivne zadatke obavljaju sa kontinuiranim nivoom kvaliteta. Pored navedenih ekonomskih razloga za primenu u industriji, roboti su sposobni da obavljaju i teške i opasne zadatke za čoveka. Zbog sve veće potražnje i uloge 3D štampe u svetu industrije, proizilazi da se brzina procesa izrade i kvalitet predmeta rada moraju podići na viši nivo.

Predmet istraživanja ovog master rada je implementacija 3D farme (ćelije) za proizvodnju serijskih predmeta rada, sa dodatnim obradnim centrom koji služi za odstranjivanje adhezivne podloge i potpore predmeta rada.

Automatizaciju ćelije predstavljaju dva industrijska robota, gde jedan robot uzima jedan predmet rada (prstenastog oblika) iz štampača pomoću hvataljke. Drugi, koji kao svoj alat koristi pneumatsko glodalo, vrši obradu predmeta rada, dok se predmet rada nalazi u hvataljci prvog robota.

Pored robota implementiran je PLK kao glavni (master) kontrolni uređaj.

NAPOMENA:

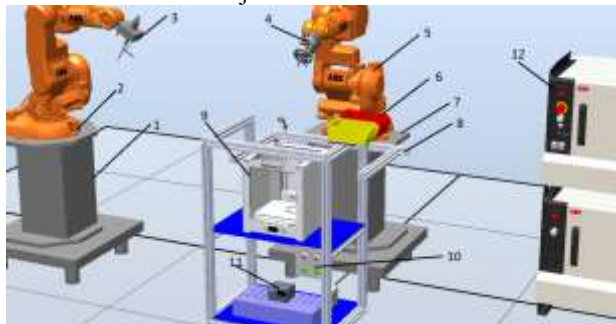
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milutin Nikolić, docent.

2. OPIS EKSPERIMENTALNE ČELIJE

2.1. 3D model ćelije

Glavne elemente ćelije predstavljaju 3D štampač, dve robotske ruke sa jednim kontrolerom, programabilni logički kontroler.

Ćelija koja je realizovana predstavlja minimalnu potrebnu konfiguraciju pomoću koje mogu da se istraže različiti upravljački zakoni pri opsluživanju štampača kao i prodiranje alata u određene materijale. Ćelija čini mehatronički sistem, jer je sačinjena od industrijskih robota, PLK-a, 3D štampe, mašinskih, pneumatskih i elektronskih komponenti kao i odgovarajućeg upravljačkog sistema. Na fotografiji 1 je prikazan 3D model realizovane ćelije.



Slika 1. 3D model ćelije

Glavne elemente predstavlja 3D štampač (pozicija 9) koji pomoću procesa FDM štampanja proizvodi predmet rada. Štampač se nalazi na ramu (pozicija 8) koji je takođe spregnut sa postoljem robota 1 (pozicija 7).

Ram je impelentiran od bošovih profila 40x40 (bosch profiles). U donjem nivou nosećeg rama je postavljen PLK (pozicija 11) sa didastičkom kutijom sa izvedenim ulazima/izlazima, napajanje 24V.

Pozicija 10 predstavlja kontrolnu tablu na kojoj su dva indikatora i dva tastera(start/stop). Pozicije 1 i 7 su postolja robota koja su spregnuta sa robotima. Pozicije 2 (robot 2) i 5 (robot 1) predstavljaju industrijske robote proizvođača ABB serije IRB 140. Na robotu 1 je postavljen troprsta pneumatska hvataljka.

Na robotu 2 je implementirana pneumatska glodalica sa glodalom prečnika Ø6 i nosačem (pozicija 3). Pozicija 6 predstavlja skladište gotovih proizvoda. Pozicija 12 predstavlja kontroler IRC5 za robote 1 i 2.

2.2. 3D štampač, industrijski robot, PLK

Štampač koji je korišćen u implementaciji je: ULTIMAKER 2+0 [1]. ULTIMAKER 2+ je unapređeni model koji ima bolji mehanizam za uvođenje materijala, četiri različite glave za precizniju ili bržu štampu i bolje hlađenje od ULTIMAKER 2.

U ovom radu su korišćena 2 robota antropomorfne konfiguracije proizvođača ABB IRB 140 [2]. Imaju po 6 zglobova i nosivost im je 6 kg i upravljaju se pomoću kontrolera IRC 5.

PLK se najviše koristi kao centralni deo upravljačkih automatskih sistema u industriji. Njegov program odnosno algoritam se može brzo i jednostavno menjati te je pogodan za brza rešenja i aplikacije. Deo je mnogih mašina i procesa u industriji, Siemens S7-1200 [3] je korišćen u projektu.

2.3. Hvataljka

Za manipulaciju predmeta rada korišćena je troprsta pneumatska hvataljka proizvođača Schunk 80-1. Hvataljka u ovoj implementaciji procesa ima dve uloge. Jedna je uzimanje gotovog proizvoda iz štampača. Pored toga, ona ujedno vrši i funkciju stege pri mašinskoj obradi sa interakcijom sa drugim robotom. Hvataljka je postavljena na robotu 1, 3D model hvataljke je prikazan na slici 3.



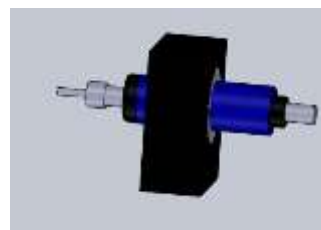
Slika 2. 3D model hvataljke

2.4. Pneumatska glodalica

Sistem za obradu predmeta rada sastojao se od:

- pneumatske glodalice
- nosača glodalice
- četvoroperog glodala za metal oznake WG / 99 prečnika šest milimetara

Vrednost radnog pritiska od 5 bara obezbeđuje optimalni kvalitet glodanja što je utvrđeno eksperimentalnim putem, a pneumatskom glodalicom se upravlja posredstvom pneumatskog razvodnika, na fotografiji 3 je prikaz 3D modela pneumatske glodalice.



Slika 3. 3D model pneumatske glodalice sa nosačem

2.5. Elektromagnetni pneumatski razvodnik

U ćeliji su korišćena dva pneumatska razvodnika 5/2 monostabilna, sa električnim aktiviranjem. Jedan je korišćen za upravljanje hvataljkom, drugi pneumatski razvodnik korišćen je za upravljanje pneumatske glodalice.

Za kontrolisanje hvataljke je korišćen razvodnik sa kataloškom oznakom: CPE14-M1BH-5I-1/8, 5/2 monostabilan sa električnim aktiviranjem a za kontrolisanje pneumatskog glodala korišćen je razvodnik sa kataloškom oznakom: VUVS-120-M52-MD-G18-F7, 5/2 monostabilan sa električnim aktiviranjem. Priključak 2 kod razvodnika je začepljen jer pneumatsko glodalo ima samo jedan priključak za vazduh pod pritiskom.

3. POSTAVKA SISTEMA I PRIPREMA ZA RAD

3.1. Modelovanje i preprema predmeta rada za štampanje

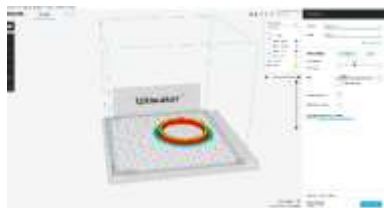
Kao predmet rada u dogovoru sa mentorom i raspoloživim komponentama u laboratoriji (hvataljke) izabran je jednostavan proizvod u obliku prstena.

Postupak izrade prstena se odvijao u tri faze:

- Izrada 3D modela

- Kreiranje G-koda
- Postupak 3D štampe

Postupak izrade G-koda je maksimalno pojednostavljen primenom pratećeg programa štampača (CURA) Ultimaker 2+, koji je ujedno i korišćen za postupak 3D štampe. Jednostavnim zadavanjem parametara kao što su vrsta materijala, brzina štampe, procenat ispune predmeta materijalom kao i parametar za prvi adhezivni sloj na kom se i bazira implemetacija jednog dela čelije, kreira se spisak potrebnih instrukcija tj. G-kod. Za izradu predmeta rada izabran je materijal PLA (PLA) i ispunjena od 20 procenata a vreme potrebno da se izradi je iznosilo oko 1sat i 30 minuta, fotografija 4.



Slika 4. Predmet rada

3.2. Definisane koordinatnih sistema

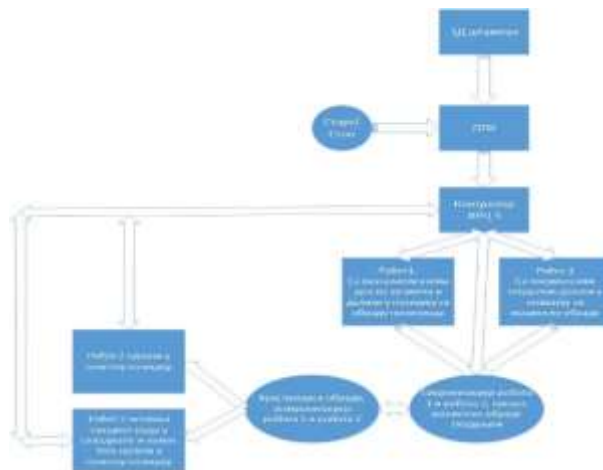
Za potrebe ovog projekta potrebno je bilo oderditi orijentaciju i rastojanje jednog robota u odnosu na drugi. Korišćena je metoda 5 tačaka kontakata, gde se i jedan i drugi robot dovode u iste tačke sa različitim konfiguracijama u zglobovima. Definisane koordinatnog sistema alata je podrazumevalo određivanje centra vrha hvataljke, odnosno TCP-a koji predstavlja koordinatni početak koordinatnog sistema alata. Metoda izabrana za određivanje TCP-a je metoda tri tačke. Ova metoda podrazumeva navođenje robota pomoću upravljačke konzole i dodirivanje jedne fiksne referentne tačke centrom vrha hvataljke sa tri što različite orijentacije hvataljke.

4. REALIZACIJA UPRAVLJANJA ČELIJOM

4.1. Algoritam rada

Algoritam rada čelije prilično je jednostavan. Nakon što 3D štampač završi proces izrade predmeta rada šalje signal PLK-u da je predmet rada spreman za manipulisanje. Mikroprekidač je montiran sa zadnje strane štampača. PLK dobija signal od mikroprekidača kada se ploča na kojoj se štampa proizvod pomeri u krajnju donju poziciju štampača. Ploča je u čvrstoj vezi sa vretenom, koje predstavlja jednu od 3 ose (z-osa). PLK obradom upravljačkog signala od mikroprekidača i tastera na komandnoj tabli šalje dva signala (start/stop) IRC 5 kontroleru. Ako je poslat signal start, robot 1 izvršava program uzimanja dela iz štampača, dok robot 2 odlazi u poziciju čekanja za mašinsku obradu. Nakon pozicioniranja robota 1 u tačku, koja predstavlja da je robot 1 spreman da ima interakciju sa robotom 2, dolazi do sinhronizacije robota. U ovom delu programa izvršava se proces mašinske obrade skidanja viška materijala (adhezivne podloge) sa predmeta rada. Po završetku procesa glodanja sa predmeta rada, roboti se asinhronizuju, robot 2 ide u početnu poziciju (home position 2), robot 1 odlazi u poziciju za ostavljanje predmeta rada u skladište. Nakon što robot ostavi predmet

rada, robot 1 vrši kretanje u početnu poziciju (home position 1). Opisan algoritam je prikazan fotografijom 5



Slika 5. Algoritam rada

4.2. Elektro šema povezivanja PLK-a sa perifernim uređajima

Na fotografiji 6 je prikazana elektro-šema povezivanja perifernih jedinica sa PLK kao i povezivanje upravljačkih signala između PLK i ulaznog/izlaznog modula (DSQC 652) IRC 5 kontrolera. DSQC 652 predstavlja modul za povezivanje kontrolera IRC 5 sa perifernim uređajima. Kao što se vidi sa elektro šeme, na ulaz PLK su povezana 2 tastera, S1-predstavlja taster za startovanje robota, izuzimajući 3D štampač, S2 je taster za zaustavljanje kretanja robota. Pritiskanjem ponovo tastera S1 roboti nastavljaju svoje kretanje, tamo gde su bili zaustavljeni. Kada se mikroprekidač MP aktivira on predstavlja signal da je 3D štampač završio svoj proces štampanja, i uz prisutnost aktiviranog tastera S1, aktivira se izlaz PLK-a Q0.4, koji je povezan sa pinom DI9 od modula. Aktiviranjem tastera S2, aktivira se izlaz PLK-a Q0.2 koji je povezan sa pinom DI10 modula DSQC 652. Zbog 2 različita uređaja koji su međusobno povezani sa I/O, urađeno je nulovanje između uređaja. Za kontrolisanje elektromagnetnih razvodnika odnosno aktuatora korišćeni izlazi modula DSQC 652, DO2 za upravljanje pneumatske glodalice i DO7 za upravljanje pneumatske hvataljke.



Slika 6. Elektro šema povezivanja

Programiranje PLK je implementirano pomoću lader dijagrama. Softver koji je korišćen pri realizaciji programa jeste TIA-portal.

4.3. Implementacija programa za industrijske robote

U ovom poglavlju biće opisan način pisanja programa kao i funkcije koje su korišćene tokom implementacije programa. Kod je pisan u softveru RobotStudio. RobotStudio je softver proizvođača ABB, koji omogućava modeliranje, offline programiranje i simulaciju ABB robotskih sistema na standardnom PC

računaru pod windows okruženjem. Za programiranje u RobotStudiu okruženju koristi se programski jezik visokog nivoa RAPID. Pre implementiranja programa u softveru prvo je urađena priprema stanice. To podrazumeva određivanje i definisanje koordinantnih sistema: TCP-a alata kao i određivanje koordinata jednog robota u odnosu na drugi. Kreiranjem nove stanice u RobotStudiu pomoću backup-a, koji je urađen na kontroleru IRC 5 sa određenim koordinantnim sistemima dobili smo realan sistem u softveru.

Sama implementacija programa se može podeliti u 3 segmenta:

- Uzimanje predmeta rada sa robotom 1.
- Sinhronizacija robota i proces skidanja viška materijala sa predmeta rada
- Ostavljanje predmeta rada u skladište

Kontroler robota IRC 5 preko ulaznog/izlaznog modula dobija upravljački digitalni signal od PLK-a da je predmeta rada spreman za manipulisanje. Robot 1 uzima predmet rada (prsten) iz štampača pomoću pneumatske hvataljke. Hvataljka je toprstne konfiguracije sa hodom od 8mm upravljana preko elektromagnetnog pneumatskog razvodnika 5/2 koji je monostabilan. Na fotografiji 7 (levo) je prikazano uzimanje predmeta rada iz štampača. Kad su roboti 1 i 2 u pozicijama za sinhronizaciju počinje proces mašinske obrade viška materijala sa predmeta rada. Na robotu 2 je implementirana pneumatska glodalica sa glodalom prečnika Ø6. U ovom delu programa korišćena je opcija Multimove koju podržava kontroler IRC 5. Svrha Multimove [4] je da jedan kontroler upravlja sa nekoliko robota.

Evo nekoliko primera primene:

- Nekoliko robota može raditi na istom objektu u pokretnom radu.
- Jedan robot može premestiti radni objekat dok drugi roboti rade na njemu.
- Nekoliko robota može saradivati za podizanje teških predmeta.

U ovom projektu je korišćen MultiMove za koordinirane sinhronizovane pokrete. Pošto je predmet rada prstenastog oblika robot 2 koristi MoveC kretanje, kružno kretanje. Ovim kretanjem robota 2 sa glodalom po obodu predmeta rada višak materijala se odbacuje. Proces mašinske obrade se završava kad se robot 2 vrati u početnu tačku, odakle je krenuo proces. Na fotografiji 7 (gore desno) je prikazan deo procesa mašinske obrade.



Slika 7. Prikaz delova procesa

Roboti se pri tome asinhronizuju, robot 2 odlazi u početnu poziciju, dok robot 1 vrši kretanje do skladišta predmeta rada. Skladište je u vidu industrijske kutije. Kad se robot 1 pozicionira na određenu visinu iznad skladišta hvataljka se otvara i predmet rada upada u kutiju, zatim se i robot 1 vraća u početnu poziciju. Na fotografiji 7 (dole desno) je prikazan jedan detalj ostavljanja predmeta rada u

skladište. Time se završio proces opsluživanja 3D štapača i mašinska obrada predmeta rada.

5. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Nakon što je završeno pisanje koda robot je nekoliko puta pušten kroz ceo ciklus, kako bi se utvrdilo da je kod pravilno napisan i da ne dolazi do nepredviđenog ponašanja robota. Prvih nekoliko testiranja su rađena u ručnom režimu i malim brzinama kretanja robota. Ovo testiranje je izvršeno kako bi se izvršila korekcija putanja zbog grešaka koje su proizišle prilikom određivanja koordinantnih sistema, deformacija u robotskoj strukturi i mehaničkim tolerancijama. Posle korekcija putanja sledeća testiranja su urađena u automatskom režimu. Greške u pozicioniranju su bile zanemarljive i nisu uticale na kvalitet obrade predmeta rada.

Ako cena tehnologije 3D štampe nastavi da opada, zasigurno će u budućnosti takav način proizvodnje postajati sve zastupljeniji. To znači da bi se jedan sistem kao što je obrađen u ovom zadatku mogao dodatno unaprediti i primeniti za obradu u nekom budućem sistemu.



Slika 8. Prikaz realizovane eksperimentalne ćelije

6. LITERATURA

- [1] ULTIMAKER 2+, <https://ultimaker.com/download/7385/UserManual-UM2-v2.1.pdf>
- [2] ABB IRB 140, <http://isa.uniovi.es/~jalvarez/abb/en/3HAC027400-en.pdf>
- [3] SIEMENS S7-1200, https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_systemanual_en-US_en-US.pdf
- [4] http://serioussurvivor.com/wp-content/uploads/2017/03/MultiMove-3HAC021272-001_RevH_en.pdf

Kratka biografija:



Nemanja Milovanović rođen je u Valjevu 1993. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2016. god. Oblast interesovanja su industrijski roboti.