

ISTRAŽIVANJE I OBLIKOVANJE SKLOPOVSKE I PROGRAMSKE PODRŠKE ZA EDUKACIJSKU FLEKSIBILNU STANICU

Tomislav Šarić, Goran Šimunović, Roberto Lujčić

Prethodno priopćenje

U radu je istražena mogućnost povezivanja postojeće opreme iz Laboratorija za računalom integriranu proizvodnju s ciljem dobivanja nove kvalitete u edukaciji studenata. Analizirani su problemi i postavljeni ciljevi u realizaciji edukacijske fleksibilne stanice kroz integraciju CNC tokarilice i robotskog sustava. Predložen je način oblikovanja sklopovske i programske podrške i pojašnjene su prednosti i nedostaci danog rješenja: stezanja, prilagodbe prstiju prihvatnice robota, povezivanja upravljačkih jedinica robota i CNC tokarilice, te izrade programskih rješenja za postavljeni tehnološki problem. U eksperimentalnom dijelu rada testirano je predloženo sklopovlje. Po prihvaćenom sklopovskom rješenju provedena je simulacija programskog rješenja na razini upravljačkog sustava robota, a potom i testiranje predložene integrirane cjeline, odnosno sinkroniziran rad edukacijske fleksibilne stanice kod izrade predloženog radnog predmeta.

Ključne riječi: programiranje, CNC tokarilica, robot, fleksibilna stanica

Researching and designing of hardware and software supports for an educational flexible cell

Preliminary notes

The paper shows the possible ways of using existing laboratory equipment with the main goal to increase the quality of education and training of students in the work with the flexible cell. Problems were analyzed and goals were set especially in a way of mutual communication, necessary links and integration problems that were taken into consideration between CNC lathe and the robot system. Advantages and disadvantages of the proposed solution will be shown in a way of tightening, adjustments of robot fingers, connections between robot and CNC lathe control units and software solutions. The testing of proposed hardware has been done through the experimental part. According to accepted and realised hardware solution, the robot simulation was done first and it was followed by the testing and synchronisation of the overall system.

Key words: Programming, CNC Lathe, Robot, Flexible cell

1 Introduction

Uvod

Računalom integrirana proizvodnja (eng. *Computer Integrated Manufacturing, CIM*) je interdisciplinarna znanost koja koristi suvremeno sklopovlje (eng. *Hardware*) i programska rješenja (eng. *Software*), a što podrazumijeva: računalnu grafiku, inženjersko programiranje, proizvodne sustave, CNC (eng. *Computer Numerically Controlled*), industrijske robote, znanost o materijalima, MRP (eng. *Material Resource Planning*), CAD (eng. *Computer Aided Design*), CAM (eng. *Computer Aided Manufacturing*), visoko učinkovite procesne simulacije, fleksibilnu proizvodnju, umjetnu inteligenciju, itd. [1].

U svojoj suštini računalom integrirana proizvodnja predstavlja umreženost svih računalno upravljanih sustava tvrtke u potpuno interaktivni mrežni sustav, a s ciljem da se postigne brži protok informacija između svih dijelova proizvodnog sustava tvrtke. Uvođenjem CAD, CAM, CNC, CAE (eng. *Computer Aided Engineering*), CAPP (eng. *Computer Aided Process Planning*) i CAQ (eng. *Computer Aided Quality Control*) podsustava postavlja se osnova sustava računalom integrirane proizvodnje. Automatiziranim preuzimanjem različitih povratnih informacija iz proizvodnog procesa u informacijski sustav poduzeća daje pouzdanije upravljačke podatke. Pomoću tih podataka može se simulirati stvarno stanje u proizvodnom sustavu, a rezultati su točni i kao takvi služe voditeljima proizvodnje za upravljanje odnosno praćenje proizvodnje te su korisni u procesu donošenja odluka.

Prednosti uvođenja računalom integrirane proizvodnje u tvrtku su [1]: kraće vrijeme od konstruiranja do konačnog proizvoda, točniji proračuni, kraće planiranje rokova proizvodnje, veća fleksibilnost planiranja i proizvodnog

procesa, proizvodnja s niskim troškovima i točnija procjena troškova.

Sastavnicu računalom integrirane proizvodnje čine i fleksibilni proizvodni sustavi - FPS (eng. *Flexible Manufacturing System*). FPS je složeni sustav koji u sebi integrira više podsustava procesa obrade, transporta, montaže, kontrole kvalitete i skladištenja proizvoda, te računalnog upravljanja i vođenja cijelog FPS. FPS posjeduje funkcijsku, strukturnu i dinamičku fleksibilnost, fleksibilnost prilagodbe, modularnost izvedbe, visoku preciznost izrade i kvalitetu proizvoda, te visok stupanj pouzdanosti sustava. Funkcijska fleksibilnost podrazumijeva sposobnost FPS da prema potrebi mijenja vrstu proizvoda, strukturna daje mogućnost prilagodbe FPS određenim zahtjevima proizvodnje zadanog proizvoda, dinamička podrazumijeva sposobnost prilagodbe FPS-a dinamici tržišta, fleksibilnost prilagodbe podrazumijeva da se postojeći FPS vrlo brzo i uz minimalna ulaganja prilagodi budućem razdoblju. Modularnost izvedbe omogućuje izradu različitih jedinstvenih modula, koji u međusobno različitim kombinacijama tvore različite vrste FPS [2].

Fleksibilni proizvodni sustav sastoji se od sljedećih karakterističnih dijelova [1]: CNC – om upravljanih alatnih strojeva, automatiziranih - računalom integriranih kontrola proizvoda na samom mjestu proizvodnje ili na posebnom mjernom uređaju, automatiziranog rukovanja proizvodima i reznim alatima pomoću industrijskih robota, sustava računalnog praćenja rada pojedinačnih jedinica u proizvodnji, sklopovskog i programskog sučelja koje omogućava mrežni rad.

Mnogi su autori zaokupljeni istraživanjima u području primjene fleksibilnih proizvodnih sustava i bave se: njihovim oblikovanjem [3, 4] definirajući ih kroz nekoliko razina, analizom fleksibilnosti i upravljanja FPS-om [5], indeksnim vrednovanjem FPS-a i mogućnostima primjene u proizvodnim uvjetima [6], pripremom inteligentne

programske podrške radu FPS-a [7, 8], itd. Znanstvena su istraživanja provedena i na edukacijskoj razini FPS-a i usmjerena su na sustave upravljanja FPS-om [9], optimizaciju planova proizvodnje u FPS-u [10].

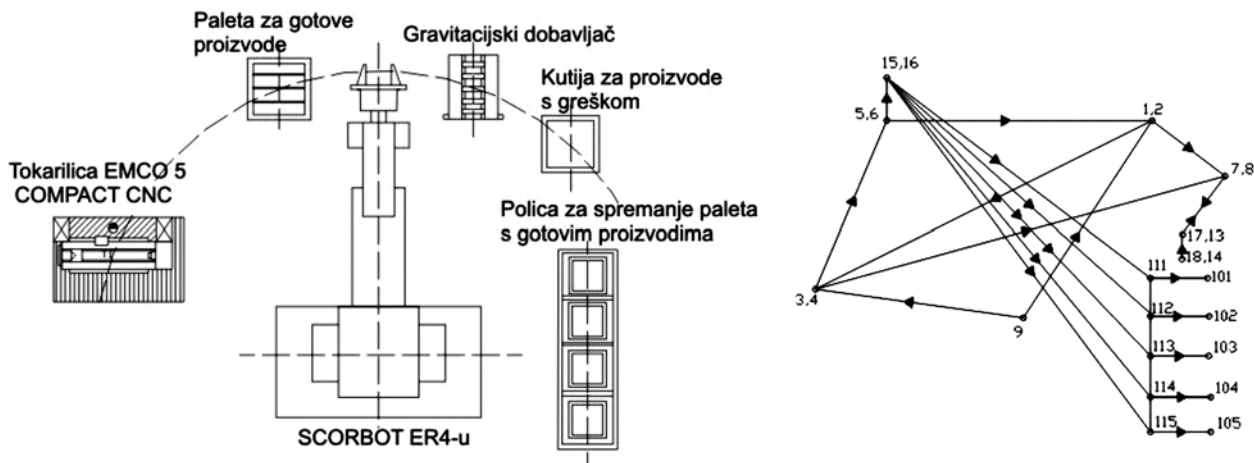
2 Postavljanje problema istraživanja Setting up of investigation problem

U Laboratoriju za računalom integriranu proizvodnju, Zavoda za industrijsko inženjerstvo Strojarskog fakulteta u Slavenskom Brodu postoji instalirana oprema koja se koristi u nastavnom procesu i istraživanjima. Budući je oprema korištena pojedinačno, postavljen je problem integracije CNC tokarilice i robotskog sustava u fleksibilnu stanicu s ciljem dobivanja nove kvalitete u edukaciji studenata. Analizirana je odabrana oprema, te se potvrdila pretpostavka za realizaciju integracije. Edukacijska CNC tokarilica ima mogućnost DNC (eng. *Direct Numerical Control*) moda rada, a predloženi robotski sustav je omogućavao upravljanje i nadzor s perifernim uređajima. Oblikovanje edukacijske fleksibilne stanice zahtijevalo je istraživanje i prijedlog rješenja uz prethodne simulacije kako programskih tako i sklopovskih rješenja. Analizom postavljenog problema uočeni su smjerovi istraživanja koji su obuhvatili: problem stezanja na CNC tokarilici, prilagodbu prstiju prihvatnice robota, problem povezivanja upravljačke jedinice robota i upravljačke jedinice CNC tokarilice, izradbu programskog rješenja i simulaciju rada edukacijske fleksibilne stanice, te izradbu gravitacijskog dodavača sirovih komada.

Analiza problema temeljena je na opisu zadatka koji robotski sustav treba izvršiti u interakciji s CNC tokarilicom. Analiza problema započinje izradom prostornog plana rasporeda robotskog radnog prostora u kojem se kasnije simulira kretanje robota (slika 1). Simulacija kretanja robota je kvalitativne prirode i služi za vizualno prikazivanje kretanja unutar definiranog radnog prostora.

Zadatak robotskog sustava je posluživanje CNC tokarilice manipulirajući radnim cilindričnim pripremcima i gotovim proizvodima, ovisno o zadanim zahtjevima. Radni ciklus sastojao bi se od niza operacija:

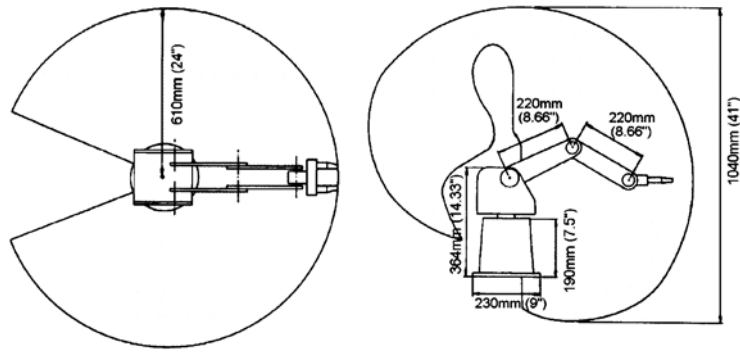
- 1) Robot kreće iz početnog položaja 9 u položaj 1 iznad gravitacijskog dodavača polaznog materijala, spušta se na položaj polaznog materijala, zatvara prihvatnicu, program provjerava je li polazni materijal na mjestu, ako nije, robot javlja operateru da polaznog materijala nema i vraća se u početni položaj.
- 2) Ako je polazni materijal raspoloživ na gravitacijskom dodavaču, podiže ga u položaj 1 i prenosi u položaj 3 koji je iznad tokarilice, spušta ga na tokarilicu u položaj 4 i šalje upravljački signal za stezanje preko izlaza 1 na pogon konjića.
- 3) Nakon stezanja robot otvara prihvatnicu, kreće natrag u položaj 3 i šalje upravljački signal preko izlaza 4 na DNC ulaz CNC tokarilice da započne s obradom, istovremeno čeka da se promijeni stanje upravljačkog signala na ulazu 1 koje mijenja program CNC tokarilice kad je tehnološka obrada završena.
- 4) Nakon što je robot dobio upravljački signal od CNC tokarilice, kreće u položaj 4, prihvaća gotov radni predmet, diže ga u položaj 3, iz tog položaja ga prenosi u položaj 5, koji je iznad palete za gotove proizvode, spušta ga u položaj 6, odnosno na paletu i tamo ga ostavlja, te se vraća u položaj 5.
- 5) Ako je paleta s gotovim proizvodima puna, robot kreće u položaj 15, koji predstavlja položaj za prihvat palete, zatim se spušta u položaj 16, uzima paletu i diže je nazad u položaj 15; iz položaja 15 paletu prenosi do skladišta (police) s paletama u položaj 111, te je ostavlja na položaju 101; kreće nazad u položaj 111 iz kojeg se giba u položaj 112, a zatim u položaj 102 i uzima praznu paletu, koju zatim odnosi na položaj 16 do mjesta za paletu; skladište za palete ima kapacitet za 5 paleta i kad su sve pune robot prestaje s radom dok ga operater ponovno ne pokrene nakon što je ispraznio palete.
- 6) Prilikom uzimanja radnog predmeta u položaju 2, robot mu istodobno mjeri dimenzije, ako dimenzije (promjer) radnog komada nisu odgovarajuće tada robot prenosi radni predmet do kutije s greškama na položaju 8; kad je kutija s greškama puna, robot se kreće u položaj 17 da je pokupi i odnese na mjesto za kutije s greškama na položaju 18; radni ciklus robota završava vraćanjem u početni položaj 9 iz kojeg kreće u novi ciklus.



Slika 1 Shematski prikaz oblikovanja fleksibilne radne stanice s radnim ciklusom
Fig. 1 Schematic preview of design of flexible working cell with working cycle



Slika 2 Robot Scorbot ER-4u
Fig. 2 Robot Scorbot ER-4u



Slika 3 Manipulacijski prostor robota Scorbot ER-4u
Fig. 3 Handling area of robot Scorbot ER-4u

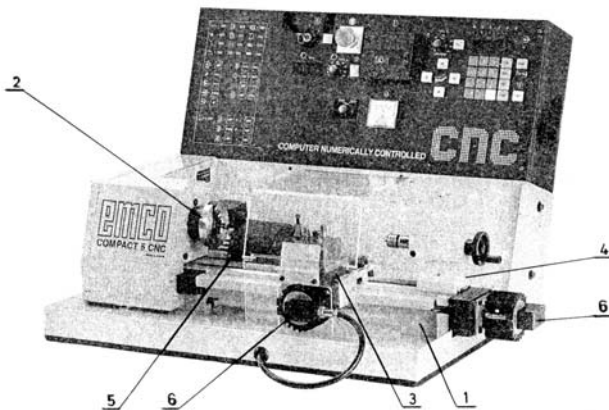
3

Kratki opis postojeće opreme

Short description of existing equipment

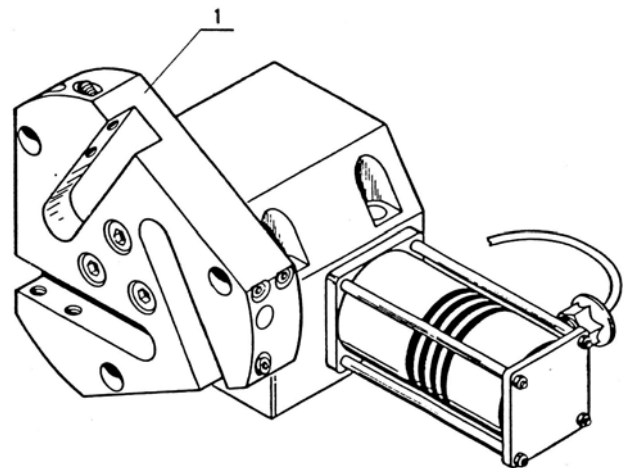
SCORBOT ER-4u je edukacijski robotski sustav koji je ekvivalent industrijskih robotskih sustava (slika 2). Otvorena struktura ruke robota omogućuje studentima da vizualiziraju proces i proučavaju mehanizme robota unutar njegovog manipulacijskog prostora (slika 3). Robot ima pet stupnjeva slobode gibanja i može se programirati na sličan način kao i industrijski roboti. Koristi se samostalno ili kao dio CIM sustava, zajedno s različitim mehatroničkim komponentama. Brzina i ponovljivost ovog robota čine ga pogodnim za samostalan rad i za integriranje u automatizirane radne stanice, npr. robotizirano zavarivanje, posluživanje CNC alatnih strojeva i drugih operacija unutar fleksibilnih proizvodnih sustava kao što su klasificiranje i mjerenje. Detaljni opis i tehničke karakteristike dane su u [11,12].

EMCO COMPACT 5 CNC je univerzalna, numerički upravljana tokarilica stolne izvedbe. Služi za edukaciju u programiranju numerički upravljanih alatnih strojeva, te praktičnu izradu dijelova na stroju. Glavni su dijelovi tokarilice (slika 4): postolja s vodilicama (1), glavno vreteno sa steznom glavom (2), uzdužni i poprečni potporanj s nosačem alata (3), konjić (4), glavni motor s mjenjačkim remenicama (5), motori za uzdužni i poprečni pomak (6).



Slika 4 Tokarilica Emco Compact 5 CNC
Fig. 4 Lathe Emco Compact 5 CNC

Uzdužni potporanj je klizač koji se uzdužno giba po vodilicama stroja. Na sebi nosi poprečni potporanj s nosačem alata, motor s navojnim vretenom i maticom za gibanje poprečnog potpornja, te prozirni štitnik koji sprečava strugotinu da izlazi iz područja stroja. Poprečni potporanj giba se na poprečnim vodilicama po uzdužnom suprtu i osigurava poprečno gibanje alata. Na njegovu gornju plohu učvršćen je revolverski nosač alata (slika 5). Detaljni opis i tehničke karakteristike dane su u [13].



Slika 5 Revolverski nosač alata
Fig. 5 Revolver's support tool

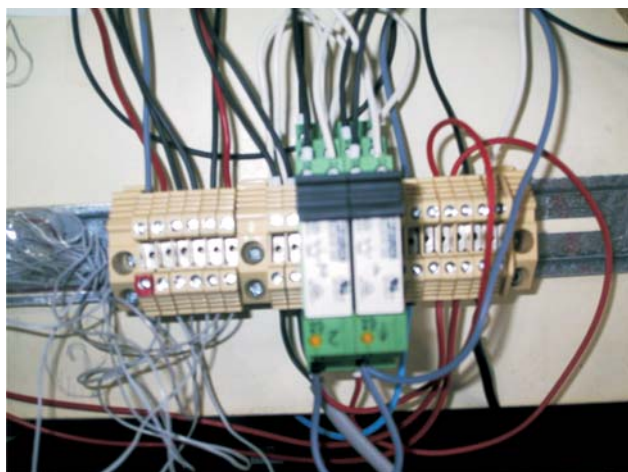
4

Prijedlog rješenja povezivanja i oblikovanja fleksibilne stanice

Proposal of solution for connection and design of a flexible cell

Robotski sustav i CNC tokarilica su proizvodi različitih proizvođača, oni su međusobno neovisni, a cilj ih je povezati u sustav koji je sposoban samostalno izrađivati proizvode, te se na jednostavan način prilagođavati promjenama uvjeta izrade i karakteristika samih proizvoda.

Robotski sustav i CNC tokarilica imaju svoje digitalne i analogne ulaze i izlaze preko kojih se ostvaruje komunikacija s periferijom. Povezivanjem se ostvaruje međusobna komunikacija robota i CNC tokarilice na način da upravljački sustavi međusobno šalju i primaju digitalne signale, ovisno o programskim naredbama korištenim u sustavu, te oni na osnovi upravljačkih signala reaguju i izvršavaju upravljačkim signalima definirane zadatke. Da



Slika 6 Medusučelje povezivanja robota i CNC stroja
Fig. 6 Connection interface of robot and CNC machine



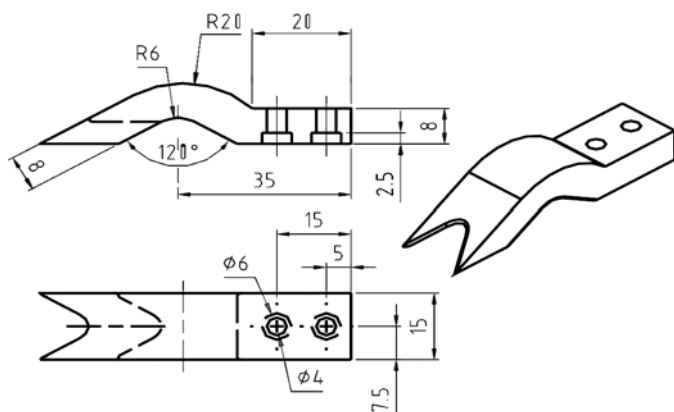
Slika 7 Konjić pokretan elektromotorom
Fig. 7 Tailstock driven by electromotor

bi se uspješno integrirali ova dva sustava potrebno je riješiti nekoliko problema koji se pojavljuju tijekom procesa integracije. Povezivanje je riješeno izradom međusučelja (slika 6).

4.1 Problem stezanja Problem of tightening

Budući je tokarilica postavljena za ručni način stezanja radnih predmeta, potrebno je promijeniti način stezanja na stroju, odnosno automatizirati ga. Uz tokarilicu osim klasične stezne glave dolazi još jedan sustav za stezanje, a sastoji se od steznog konjića, na kojem se nalazi stezni šiljak, i glave sa šiljcima (slika 7). Konjić je pokretan elektromotorom, pogonjenim istosmjernom strujom, preko reduktora. Ovaj sustav ostvaruje stezanje "u šiljke" na način da konjić pritišće na radni predmet u smjeru stezne glave. Šiljci na steznoj glavi zariju se u radni predmet i na taj način omogućuju glavno kretanje. Konjić je međusučeljem povezan s upravljačkom jedinicom robota i putem međusučelja komunicira s robotskim sustavom.

Smjer kretanja konjića određen je polaritetom napona istosmjerne struje, a polaritet struje mijenja se relejima na međusučelju. Kad upravljačka jedinica robota pošalje upravljački signal na relej, on ga prosljeđuje na izvor napajanja elektromotora konjića, te određuje gibanje konjića, odnosno stezanje.



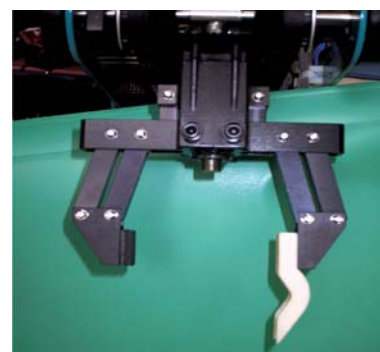
Slika 8 Crtež nastavka prsta prihvatnice
Fig. 8 Drawing of joined piece for jaw fingers

4.2 Oblikovanje i izrada nastavaka za prste prihvatnice Design and making of joined piece for jaw fingers

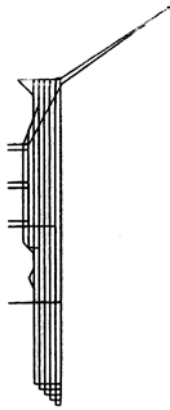
Polazni materijal i radni predmet su cilindričnog oblika, a gumeni nastavci na prstima prihvatnice su ravne površine. Stoga je potrebno prilagoditi prste prihvatnice tako da bolje prijanjaju uz cilindričnu površinu. Da bi se izradili modificirani nastavci za prste prihvatnice, potrebno je oblikovati nastavke, te izraditi tehnički crtež pomoću programa za računalno konstruiranje. Za oblikovanje nastavka prsta prihvatnice (slika 8) primijenjen je programski paket *Mechanical Desktop* tvrtke *Autodesk*. Slijedila je izrada nastavka prsta na prostornom pisaču (stroj za brzu izradu prototipova, eng. *Rapid Prototyping*) model Z310, tvrtke *Z Corporation*. Prostorni pisac služi za izradu fizičkih modela izravno iz digitalnih podataka (CAD crteža), a tehničke karakteristike ovog stroja dane su u [14].

Strojevi za brzu izradu prototipova baziraju se na tehnologiji stolnih tintnih pisaa. Valjak nanosi prah na osnovnu površinu, a zatim ispisna glava kroz mlaznicu ubrizgava vezivo koje reagira s prahom i na taj način tvore čvrstu površinu. Proces se ponavlja sloj po sloj dok čitav model nije dovršen. Kao materijal se često koristi termopolimer, no takva je struktura veoma krhka i zahtijeva dodatni tretman nakon izrade. Dodatni tretman podrazumijeva uranjanje gotovog modela u tekući vosak ili epoksidnu smolu radi očvršćivanja strukture materijala modela i tim je postupkom model u potpunosti izrađen [15].

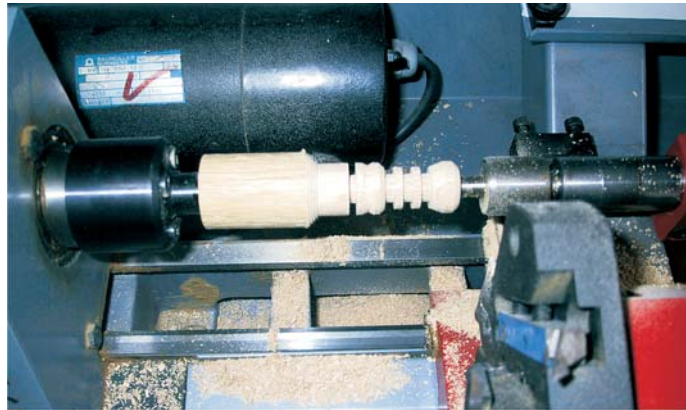
Polazno stanje prsta prihvatnice i prihvatnica s modificiranim nastavkom prsta prikazane su na slici 9. Izrađena su i pričvršćena dva nastavka prstiju prihvatnice.



Slika 9 Modificirani nastavak prsta prihvatnice
Fig. 9 Modified joined piece of jaw finger



Slika 10 Simulacija izrade
Fig. 10 Simulation of making



Slika 11 Proces izrade na CNC tokarilici
Fig. 11 Process of making on the CNC centre lathe

4.3 Izrada programa i simulacija rada edukacijske fleksibilne stanice

Developing and simulation of software for an educational flexible cell

Prije izrade programa potrebno je izraditi plan rada koji je različit za robota i CNC tokarilicu. Cijelo vrijeme treba imati na umu njihovu međusobnu interakciju da ne bi došlo do kolizije u manipulacijskom prostoru robota, odnosno CNC tokarilice. Analiza programa i moguće kolizije provjerene su kroz računalnu simulaciju rada fleksibilne stanice.

4.3.1 Izrada i simulacija programa za tokarilicu EMCO COMPACT 5 CNC

Developing and simulation of software for the lathe EMCO COMPACT 5 CNC

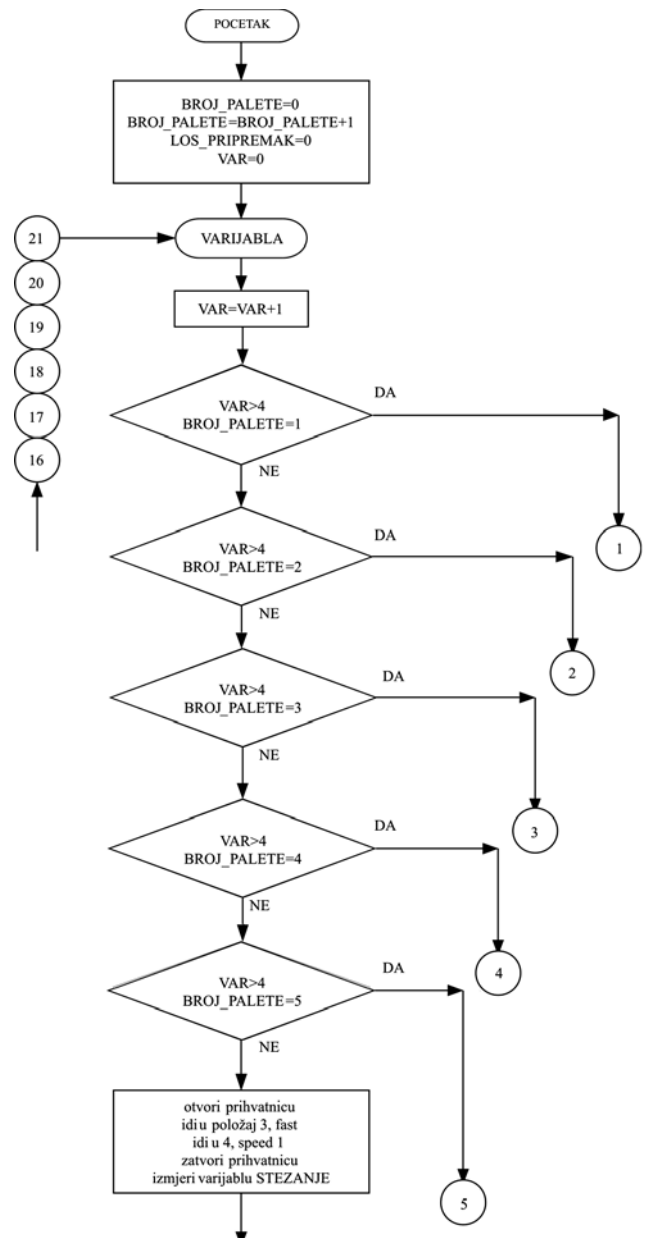
Izradi CNC program za tokarilicu prethodila je izrada plana stezanja i plana rezanja. Pri izradi plana stezanja potrebno je u obzir uzeti dimenzije pripremljena i slobodni prostor koji treba ostavljati na CNC tokarilici za manipulaciju robota u radnom prostoru tokarilice prije nego obrada započne i nakon završetka obrade. U planu stezanja potrebno je odrediti startnu točku alata i nul-točku radnog predmeta. Kako je u planu stezanja određena startna točka alata, može se izraditi plan rezanja. Plan rezanja izrađuje se uz prethodno poznavanje tehnoloških i geometrijskih informacija o radnom predmetu. CNC program [13] se u potpunosti izrađuje u skladu s planom rezanja uz dodavanje naredbi koje omogućuju komunikaciju tokarilice s robotom i usklađuju njihov međusobni rad. Nakon izrade, program se unosi u upravljačku jedinicu, pokreće se simulacija rada (slika 10), te se provjerava simulacija i plan rezanja. Ako je simulacija potvrdila plan rezanja, pristupa se izradi (slika 11).

4.3.2 Izrada programa za robot SCORBOT ER-4u

Development of software for the robot SCORBOT ER-4u

Prema postavljenom problemu istraživanja, pristupilo se rješavanju programa za robotski sustav koji treba osigurati manipulaciju i posluživanje CNC tokarilice. Problem je u prvom koraku postavljen i riješen algoritam-

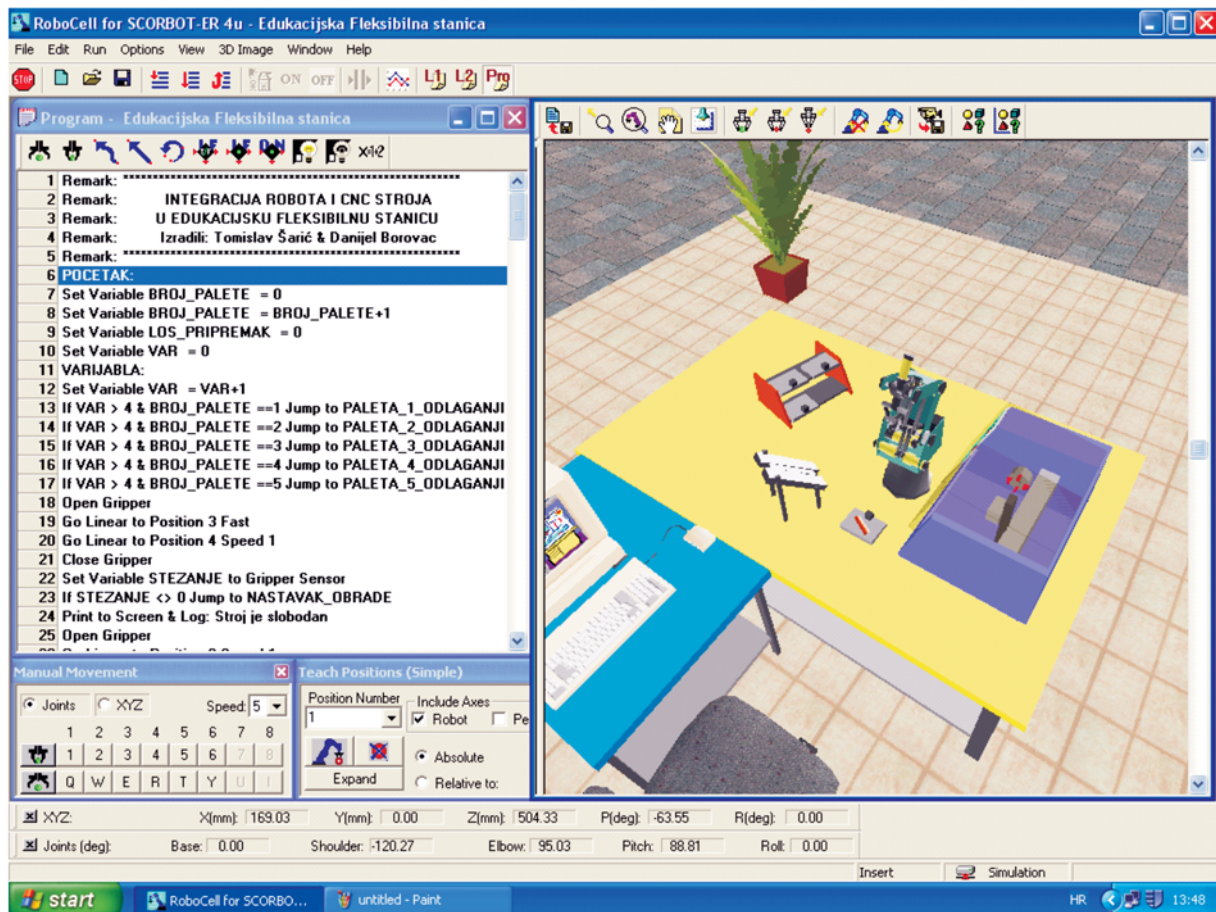
ski, a potom je definiran programski kod. Zbog veličine algoritma, na slici 12 je dan tek dio algoritma, a u tablici 1 dio programskog koda napisan u programskom jeziku *Scorbase for ER-4u* [16].



Slika 12 Dio algoritma rješenja postavljenog problema
Fig. 12 Part of algorithm for solving the set problem

Tablica 1 Dio programskog koda rješenja postavljenog problema
 Tab. 1 Part of programme code for solving the set problem

PROGRAMSKA LINIJA	POJAŠNJENJE
POCETAK:	Label: POCETAK
Set Variable BROJ_PALETE = 0	Početna vrijednost varijable BROJ_PALETE jednaka je 0
Set Variable BROJ_PALETE = BROJ_PALETE+1	Vrijednost varijable BROJ_PALETE svakim se prolazom uvećava za 1
Set Variable LOS_PRIPREMAK = 0	Početna vrijednost varijable LOS_PRIPREMAK jednaka je 0
Set Variable VAR = 0	Početna vrijednost varijable VAR jednaka je 0
VARIJABLA:	Label: VARIJABLA
Set Variable VAR = VAR+1	Vrijednost varijable VAR svakim se prolazom uvećava za 1
IF VAR > 4 & BROJ_PALETE ==1 jump to PALETA 1 ODLAGANJE	Ako je VAR>4 i BROJ_PALETE=1 skoči na label PALETA 1 ODLAGANJE
IF VAR > 4 & BROJ_PALETE ==2 jump to PALETA 2 ODLAGANJE	Ako je VAR>4 i BROJ_PALETE=2 skoči na label PALETA 2 ODLAGANJE
IF VAR > 4 & BROJ_PALETE ==3 jump to PALETA 3 ODLAGANJE	Ako je VAR>4 i BROJ_PALETE=3 skoči na label PALETA 3 ODLAGANJE
IF VAR > 4 & BROJ_PALETE ==4 jump to PALETA 4 ODLAGANJE	Ako je VAR>4 i BROJ_PALETE=4 skoči na label PALETA 4 ODLAGANJE
IF VAR > 4 & BROJ_PALETE ==5 jump to PALETA 5 ODLAGANJE	Ako je VAR>4 i BROJ_PALETE=5 skoči na label PALETA 5 ODLAGANJE
Open Gripper	Otvori prihvatnicu
Go Linear to position 3 fast	Idi do položaja 3, najvećom brzinom
Go Linear to position 4 speed 1	Idi do položaja 4, brzinom 1
Close Gripper	Zatvori prihvatnicu
Set Variable STEZANJE to gripper sensor	Veži varijablu STEZANJE za senzor prihvatnice, mjeri razmak između prstiju
IF STEZANJE <> 0 jump to NASTAVAK_OBRADE	Ako je STEZANJE=0 tada skoči na label NASTAVAK_OBRADE, provjera stezanja
Print to screen & log: Stroj je slobodan	Ako je uvjet zadovoljen ispiši na monitor: Stroj je slobodan
Open Gripper	Otvori prihvatnicu
Go Linear to position 3 speed 1	Idi do položaja 3, brzinom 1
Go Linear to position 1 fast	Idi do položaja 1, najvećom brzinom
Go Linear to position 2 speed 1	Idi do položaja 2, brzinom 1
Close Gripper	Zatvori prihvatnicu
Set Variable PROMJER to gripper sensor	Veži varijablu PROMJER za senzor prihvatnice, mjeri razmak između prstiju
IF PROMJER == 0 jump to RADNI_KOMADI	Ako je PROMJER=0 skoči na label RADNI_KOMADI
IF PROMJER >= 29 & PROMJER <= 31 jump to NASTAVAK_PROGRAMA	Ako je PROMJER≥29 & PROMJER≤31, skoči na label NASTAVAK_PROGRAMA
Print to screen & log: Vrijednost promjera iznosi: 'PROMJER'	Ispiši na monitor vrijednost varijable PROMJER
Set Variable LOS_PRIPREMAK = LOS_PRIPREMAK+1	Vrijednost varijable LOS_PRIPREMAK svakim se prolazom uvećava za 1
Go Linear to position 1 speed 1	Idi do položaja 1, brzinom 1
KUTIJA_ZA_GRESKE:	Label: KUTIJA ZA GREŠKE
Go Linear to position 7 fast	Idi do položaja 7, najvećom brzinom
Go Linear to position 8 speed 1	Idi do položaja 8, brzinom 1
Open Gripper	Otvori prihvatnicu
Go Linear to position 7 speed 1	Idi do položaja 7, brzinom 1
IF LOS_PRIPREMAK == 8 jump to ODLAGANJE_GRESAKA	Ako je LOS_PRIPREMAK=8 skoči na label ODLAGANJE_GRESAKA
Jump to KRAJ_PROGRAMA	Bezuvjetan skok na label: KRAJ_PROGRAMA
NASTAVAK_PROGRAMA:	Label: NASTAVAK_PROGRAMA
Print to screen & log: Vrijednost promjera iznosi: 'PROMJER'	Ispiši na monitor vrijednost varijable PROMJER
Go Linear to position 1 speed 1	Idi do položaja 1, brzinom 1
Go Linear to position 3 fast	Idi do položaja 3, najvećom brzinom
Go Linear to position 4 speed 1	Idi do položaja 4, brzinom 1
Turn on output 1	Uključi output 1



Slika 13 Prikaz programskog sučelja RoboCell
Fig. 13 Preview of program interface RoboCell

4.3.3 Simulacija rada edukacijske fleksibilne stanice Work simulation of educational flexible cell

Po programskom i sklopovskom rješavanju postavljenog problema, pristupilo se simulaciji rada edukacijske fleksibilne stanice koristeći programski paket *RoboCell for Scorbot ER-4u* [17], tvrtke *Interlitek* (slika 13). U programskom okruženju definirana je radna okolina s pripadajućom opremom. Za opremu su definirane ulazne značajke i kada je simulirana edukacijska fleksibilna stanica odgovarala postavljenom u istraživanom problemu, učitani je prethodno definiran program, dan dijelom na slici 12 i tablici 1. Nakon uspješnog završetka simulacije i potvrde dobro riješenog problema, program je realiziran u realnom okruženju.

5 Zaključak Conclusion

Cilj ovog rada je istraživanje i stvaranje pretpostavki za oblikovanje edukacijske fleksibilne stanice u laboratorijskim uvjetima. Posebno su analizirane sklopovske i programske pretpostavke za integraciju robotskog sustava i CNC edukacijske tokarilice.

Kratko je opisana konstrukcija EMCO 5 CNC edukacijske tokarilice, robotski sustav SCORBOT ER-4u s ciljem rješavanja konkretno postavljenog problema rada edukacijske fleksibilne stanice kod izrade stvarnog radnog predmeta.

Za realizaciju postavljenog problema istraživanja bilo je potrebno riješiti: stezanje radnih predmeta, prilagodbu nastavaka prstiju prihvatnice robota, povezivanje upravljačke jedinice robota i CNC tokarilice, te izraditi programsku podršku za robotski sustav i CNC tokarilicu. Problem stezanja je riješen u cijelosti, prilagodba prstiju prihvatnice robota načinjena je u konstrukcijskom smislu, te potom i izrađena na pisaču za prostorni ispis. Istraživanja je i primjena prstiju prihvatnice robota u realnom laboratorijskom okruženju. Istraživanje je pokazalo da mehanička svojstva korištenog materijala za izradu prstiju prihvatnice nisu zadovoljavajuća. Problem povezivanja upravljačkih jedinica u cijelosti je riješen na sklopovskoj razini, a potom i implementiran kroz programsko rješenje, te kroz simulaciju i izradbu u laboratorijskim uvjetima.

Predloženo rješenje fleksibilne stanice omogućava edukaciju studenata na konkretnim problemima u cilju rješavanja zadataka iz područja programiranja i upravljanja CNC strojevima i robotima.

Nastavak istraživanja bio bi usmjeren na izučavanje primjene grupe tehnologije u programiranju CNC tokarilice u edukacijskoj fleksibilnoj stanici.

6

Literatura

References

- [1] Balic, J. Contribution to integrated manufacturing. DAAAM International Vienna, 1999.
- [2] Novaković, B. Metode vođenja tehničkih sistema. Zagreb : Školska knjiga, 1990.
- [3] Krieger, M. Multiactivity paradigm for the design and coordination of FMSs. // Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 6, Issue 3, (1993), pp. 195-203.
- [4] Drstvensek, I.; Pahole, I.; Balic, J. A model of data flow in lower CIM levels. // Journal of Materials Processing Technology, Vol.157-158, (2004), pp. 123-130.
- [5] Ferreira, J. C. E.; Steele, J.; Wysk, R. A.; Pasi D. A. A Schema for Flexile Equipment Control in Manufacturing Systems. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 18, Number 6, (2001), pp. 410-421.
- [6] Rao, R. V. Evaluating flexible manufacturing systems using a combined multiple attribute decision making method. // International Journal of Production Research, Vol. 46, Issue 7, (2008), pp. 1975-1989.
- [7] Balic, J. Intelligent CAD/CAM System for CNC Programming – An Overview. // Advances in Production Engineering & Management, Vol. 1, Number 1, (2006), pp. 13-22.
- [8] Liu, Y.; Zuo, L.; Chan, S.; Wang, C. Development of an open parallel intelligent CNC milling system. // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 16, (2000), pp. 537-541.
- [9] Sarah Reynard, S.; Gomis-Bellmunt, O.; Sudrià-Andreu, A.; Boix-Aragonès, O.; Benítez-Pina, I. Flexible manufacturing cell SCADA system for educational purposes. // Computer Applications in Engineering Education, Vol. 16, Issue 1, (2008), pp. 21–30.
- [10] Sterna, M. Late work minimization in a small flexible manufacturing system. // Computers & Industrial Engineering Vol. 52, Issue 2, (2007), pp. 210-228.
- [11] Scorbot ER-4u User Manual. Manchester : Intelitek Inc., 2001.
- [12] Controller USB User Manual. Manchester : Intelitek Inc., 2001.
- [13] Instructor Manual für EMCO 5 CNC. Hallein : Emco Maier & CO., 1982.
- [14] Z-Corporation: ZPrinter 310 Plus. 2008. URL: <http://www.zcorp.com/products/printersdetail.asp?ID=1>, (20.08.2008).
- [15] Fry, Jeff.; The 3D Printing Process. 2006. URL: <http://www.warwick.ac.uk/atc/rpt/Techniques/3dprinting.htm>, (03.01.2006.)
- [16] Scorbace for ER-4u, User Manual. Manchester : Intelitek Inc., 2001.
- [17] Robocell for Scorbot ER-4u, User Manual. Manchester : Intelitek Inc., 2003.

Adrese autora

Authors' Addresses

Doc. dr. Tomislav Šarić

Strojarski fakultet
Trg I. B. Mažuranić 2
HR-35000 Slavonski Brod
www.sfsb.hr
tsaric@sfsb.hr

Prof. dr. Goran Šimunović

Strojarski fakultet
Trg I. B. Mažuranić 2
HR-35000 Slavonski Brod
www.sfsb.hr
gsimun@sfsb.hr

Doc. dr. Roberto Lujčić

Strojarski fakultet
Trg I. B. Mažuranić 2
HR-35000 Slavonski Brod
www.sfsb.hr
rlujic@sfsb.hr