



Milutinović, D., Dimić, Z., Živanović, S., Slavković, N.¹⁾

UPRAVLJANJE I PROGRAMIRANJE 6-OSNOG ROBOTA ZA OBRADU KAO HORIZONTALNE I/ILI VERTIKALNE 5-OSNE MAŠINE ALATKE²⁾

Rezime

U radu je prikazan razvijeni prototip sistema za upravljanje i programiranje 6-osnog robota za višeosnu obradu. Razvijeni sistem je baziran na generalizovanom pristupu modeliranja koji omogućava emuliranje horizontalnih i/ili vertikalnih 5-osnih mašina alatki čime se omogućava programiranje u G-kodu i korišćenje postojećih CAD/CAM sistema za višeosnu obradu. Mogućnost rekonfigurisanja odnosno emuliranja i horizontalne i vertikalne 5-osne mašine alatke u toku jednog zadatka omogućava višestranu obradu vrlo složenih delova u jednom postavljanju.

Ključne reči: obrada robotima, kinematičko modeliranje, upravljanje i programiranje

1. UVOD

Složenost programiranja robota je posledica nedovoljne kooperativnosti proizvođača robota u poređenju sa proizvođačima mašina alatki koji su bili spremni da koriste CAD/CAM sisteme na bazi standarda ISO6983 (RS274), odnosno G- kod. Razlozi za ovo leže u relativno malom tržištu robota, ali i nespremnosti proizvođača robota da otkriju detalje svojih upravljačkih algoritama i softvera. Iz ovih razloga istraživači na institutima i univerzitetima kao i proizvođači robota i CAD/CAM softvera razvijaju svoja softverska rešenja s ciljem da programiranje robota za obradu približe programiranju mašina alatki [1-3]. U takva softverska rešenja spadaju translatore G-koda, specifična postprocesorska rešenja itd.

U cilju doprinosa efikasne primene robota za obradu razvijen je sistem upravljanja i programiranja u G-kodu za robote sa 6 stepeni slobode vertikalne zglobove konfiguracije pri 5-osnoj obradi. U radu je predstavljen koncept sistema upravljanja otvorene arhitekture koji može biti lako primenljiv od strane operatera CNC mašina alatki. Razvijen je i generalizovani pristup modeliranja 6-osnog robota iz kojeg se emuliraju različiti tipovi vertikalnih i horizontalnih 5-osnih mašina alatki.

Verifikacija sistema upravljanja i programiranja je izvršena obradom složenog probnog dela. Troosne i 5-osne obrade su vršene na vertikalnoj mašini alatki konfiguracije (X, Y, Z, A, B), vertikalnoj mašini alatki konfiguracije (X, Y, Z, A, C) i horizontalnoj mašini alatki konfiguracije (X, Y, Z, A, B) koje su emulirane iz 6-osnog robota vertikalne zglobove konfiguracije.

2. KONCEPT PETOOSNE OBRADNE ROBOTIMA

Koncept razvijenog sistema upravljanja i programiranja otvorene arhitekture sa programiranjem u G-kodu je baziran na:

- Generalizovanom pristupu modeliranja standardizovanog 6-osnog robota koji se koristi da emulira različite tipove vertikalnih i horizontalnih 5-osnih mašina alatki;
- PC real-time Linux platformi i EMC2 (Enhanced Machine Control) softverskom sistemu [4,5];
- Mogućnosti primene postojećih CAD/CAM softvera i metoda reverznog inženjerstva sa

¹⁾ prof. dr Dragan Milutinović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (dmilutinovic@mas.bg.ac.rs), Zoran Dimić, Lola institut, Beograd, (zoran.dimic@li.rs), doc dr Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (szivanovic@mas.bg.ac.rs), Nikola Slavković, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (nslavkovic@mas.bg.ac.rs).

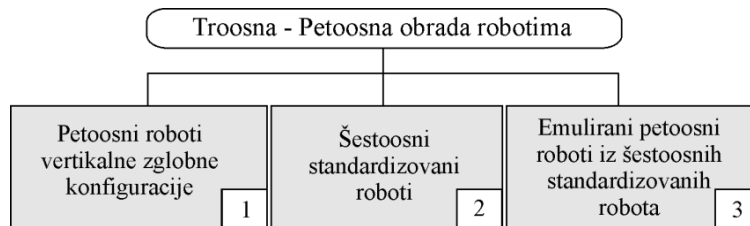
²⁾ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja se sprovode na projektu TR_35022: Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema, koji finansijski podržava Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

implementiranim postprocesorima za 3-osnu i 5-osnu obradu;

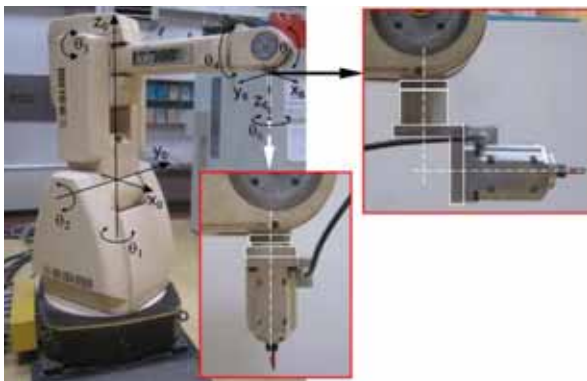
- Mogućnosti rekonfigurisanja robota, bez fizičke intervencije, odnosno mogućnosti emuliranja i horizontalne i vertikalne 5-osne mašine alatke u toku jednog zadatka za slučaj višestране obrade vrlo složenih delova u jednom postavljanju;
- Virtuelnim robotima za verifikaciju razvijenog sistema upravljanja i programiranja, a kasnije i za verifikaciju i simulaciju programa za obradu na robotu.

Troosna do 5-osna obrada robotima koja se vrši na 5-osnim i 6-osnim robotima vertikalne zglobne konfiguracije, slika 1, obuhvata sledeće slučajeve:

- 3- do 5-osnu obradu 5-osnim robotima vertikalne zglobne konfiguracije;
- 3- do 5-osnu obradu standardizovanim 6-osnim robotima vertikalne zglobne konfiguracije pri čemu su aktivne sve ose robota u toku obrade;
- 3- do 5-osnu obradu 5-osnim robotima vertikalne zglobne konfiguracije koji se emuliraju iz standardizovanog 6-osnog robota pri čemu su ose četvrtog ili šestog zgloba blokirane;



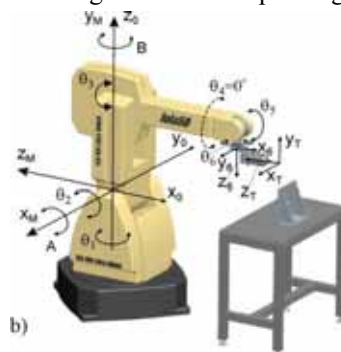
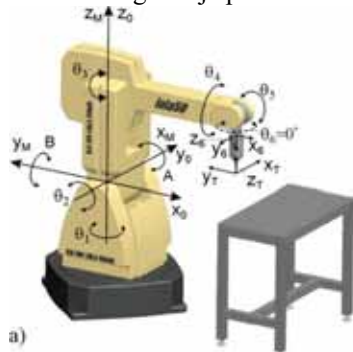
Slika 1. Troosna i petoosna obrada robotima sa 5 i 6 stepeni slobode



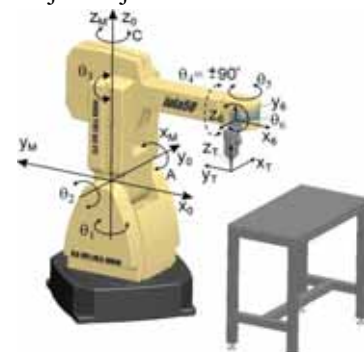
Slika 2. Eksperimentalni 6-osni robot

Za testiranje i verifikaciju razvijenog prototipa sistema upravljanja i programiranja korišćen je eksperimentalni 6-osni robot, slika 2. Eksperimentalni 6-osni robot može biti konfigurisan kao 5-osni robot na različite načine. Na slici 3 su prikazana dva osnovna tipa 5-osnih robota. Petoosni robot sa slike 3a), na kome je blokirana šesta osa, predstavlja specijalizovani 5-osni robot i dalje je posmatran u radu kao vertikalna glodalica konfiguracije (X,Y,Z,A,B) [6,7]. Petoosni robot sa slike 3b), na kome je blokirana četvrta osa, predstavlja standardizovani 5-osni robot i dalje je posmatran u radu kao horizontalna glodalica

konfiguracije (X,Y,Z,A,B) [6,7]. Pored ove dve konfiguracije 5-osnih robota 6-osni robot može da se koristi za 5-osnu obradu i u drugim konfiguracijama. U cilju emuliranja nekih drugih tipova 5-osnih mašina alatke u radu se prikazuje konfiguracija mašine alatke kao vertikalne glodalice konfiguracije (X,Y,Z,A,C) [6,7]. Ovakva konfiguracija prikazana na slici 4 omogućava veće rasponse uglova orijentacije alata A i C.

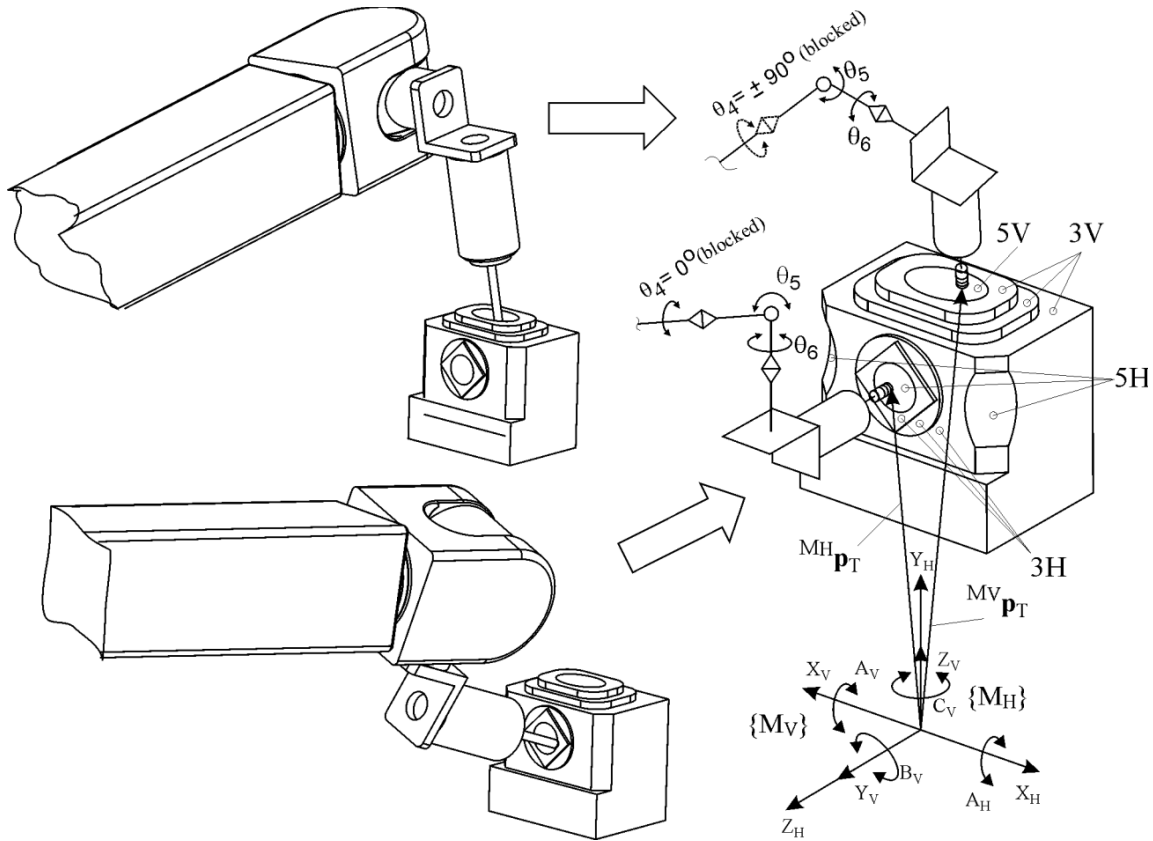


Slika 3. Emulacija dva osnovna tipa 5-osnih robota konfigurisanih iz 6-osnog robota



Slika 4. 6-osni robot konfigurisan da emulira 5-osnu vertikalnu mašinu alatku konfiguracije (X,Y,Z,A,C)

U slučaju veoma kompleksnih delova koji zahtevaju višestranu obradu predstavljeni sistem upravljanja i programiranja omogućava rekonfiguraciju robota, bez fizičke intervencije, u različite vertikalne i horizontalne mašine alatke. Ovakva rekonfiguracija rešava problem singulariteta robota i ograničenja kretanja u zglobovima robota. Kao primer na slici 5 je pokazan slučaj radnog predmeta na kome se gornja složena površina obrađuje programima za vertikalnu 5-osnu mašinu alatku konfiguracije $(X_V, Y_V, Z_V, A_V, C_V)$, dok se prednja složena površina obrađuje programima za horizontalnu 5-osnu mašinu alatku konfiguracije $(X_H, Y_H, Z_H, A_H, B_H)$.



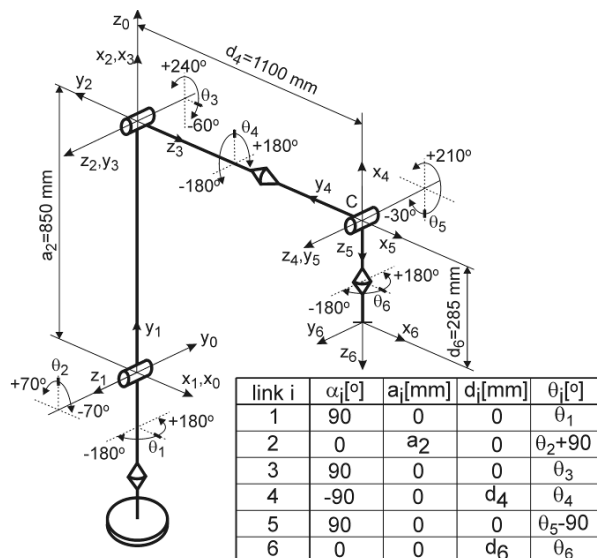
Slika 5. Primer rekonfiguracije robota u različite tipove 5-osnih mašina alatki

3. KINEMATIČKO MODELIRANJE

Za modeliranje eksperimentalnog 6-osnog robota, slika 2, korišćen je Denavit-Hartenbergov (D-H) pristup [8,9]. Prvo su segmentima dodeljeni D-H koordinatni sistemi. Pozicija i orijentacija između ovih koordinatnih sistema je opisna pomoću homogenih transformacija. Matrica ${}^{i-1}_i A$ opisuje poziciju i orijentaciju koordinatnog sistema (i) u odnosu na koordinatni sistem ($i-1$). Na slici 6 su pokazani D-H koordinatni sistemi, kinematički parametri i ograničenja u zglobovima eksperimentalnog 6-osnog robota.

Na osnovu D-H parametara formirane su transformacione matrice ${}^{i-1}_i A$, $i=1,2,\dots,6$. Sada se, kao što je poznato, direktni kinematički problem odnosno pozicija i orijentacija koordinatnog sistema (x_6, y_6, z_6) u odnosu na koordinatni sistem baze (x_0, y_0, z_0) za dati vektor unutrašnjih koordinata robota $\theta = [\theta_1 \dots \theta_6]^T$ i specificirane parametre segmenata može definisati kao

$${}^0_6 T = {}^0_1 A \cdot {}^1_2 A \cdot {}^2_3 A \cdot {}^3_4 A \cdot {}^4_5 A \cdot {}^5_6 A = \begin{bmatrix} 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{x6} & j_{x6} & k_{x6} & p_{x6} \\ i_{y6} & j_{y6} & k_{y6} & p_{y6} \\ i_{z6} & j_{z6} & k_{z6} & p_{z6} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



Slika 6. D-H koordinatni sistemi i kinematički parametri eksperimentalnog 6-osnog robota

S obzirom da se posljednje tri ose robota seku u tački C rešen je inverzni kinematički problem 6-osnog robota na dobro poznat način [8,9].

Primena generalnog modela eksperimentalnog 6-osnog robota u cilju 5-osne obrade na različitim tipovima horizontalnih i vertikalnih 5-osnih mašina alatki, sa slika 3 i 4, emuliranih iz 6-osnog robota zahteva sledeću transformaciju

$${}^M T = {}^M T_0 \cdot {}^0 T_6(\theta_1, \dots, \theta_6) \cdot {}^6 T_T = \begin{bmatrix} i_{Tx} & j_{Tx} & k_{Tx} & X_M \\ i_{Ty} & j_{Ty} & k_{Ty} & Y_M \\ i_{Tz} & j_{Tz} & k_{Tz} & Z_M \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^M R & {}^M \mathbf{p}_T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

gde je

$${}^0 T_6 = {}^0 T_6(\theta_1, \dots, \theta_6; \theta_6 = 0^\circ \vee \theta_4 = 0^\circ \vee \theta_4 = \pm 90^\circ) \quad (3)$$

U jednačini (2) vektor pozicije ${}^M \mathbf{p}_T$ predstavlja poziciju vrha alata u referentnom koordinatnom sistemu mašine {M}, dok se matrica ${}^M R$ koja definiše orijentaciju koordinatnog sistema alata {T} u odnosu na koordinatni sistem {M} za različite slučajeve 5-osnih mašina alatki, sa slika 3 i 4, emuliranih iz 6-osnog robota može definisati kao:

- za slučaj vertikalne 5-osne mašine alatke konfiguracije (X,Y,Z,A,B) kao ${}^M R = R_{YM,B} \cdot R_{XM,A}$, slika 3a),
- za slučaj horizontalne 5-osne mašine alatke konfiguracije (X,Y,Z,A,B) kao ${}^M R = R_{XM,A} \cdot R_{YM,B}$, slika 3b), i
- za slučaj vertikalne 5-osne mašine alatke konfiguracije (X,Y,Z,A,C) kao ${}^M R = R_{ZM,C} \cdot R_{XM,A}$, slika 4.

pri čemu matrice $R_{XM,A}$, $R_{YM,B}$ i $R_{ZM,C}$ predstavljaju osnovne matrice rotacije.

Kao što se vidi sa slika 3 i 4, koordinatni sistem alata {T} se definiše relativno u odnosu na koordinatni sistem (x_6, y_6, z_6) homogenim matricama ${}^6 T_T$, dok se koordinatni sistem (x_0, y_0, z_0) definiše relativno u odnosu na koordinatni sistem mašine {M} homogenim matricama ${}^M T_0$. Nakon formiranja odgovarajućih

homogenih matrica ${}^6_T T$ i ${}^M_0 T$, na osnovu jednadžine (3), za slučajeve emuliranih mašina alatki sa slika 3 i 4, jednačina (2) može biti napisana kao

$${}^0_T(\theta_1, \dots, \theta_6; \theta_6 = 0^\circ \vee \theta_4 = 0^\circ \vee \theta_4 = \pm 90^\circ) = {}^M_0 T^{-1} \cdot {}^M_T T \cdot {}^6_T T^{-1} \quad (5)$$

Iz jednačine (5) se rešavaju direktni i inverzni kinematički problem emuliranih 5-osnih mašina alatki, slike 3 i 4, uzimajući u obzir ograničenja u kretanjima zglobova robota i singularitete, na dobro poznat način [8,9].

4. SISTEM UPRAVLJANJA I PROGRAMIRANJA

Sistem upravljanja robota je baziran na PC Linux platformi i upravljačkom softveru otvorene arhitekture EMC2 [5], koji je namenjen za upravljanje mašinama alatkama i robotima serijske i paralelne kinematike. EMC2 je izrađen na osnovi NIST-ove (National Institute of Standards and Technology) [4] RCS (Real-time Control System) metodologije i programiran je korišćenjem RCS biblioteke. Sistem za programiranje robota za obradu je uobičajen i ostvaruje se primenom raspoloživog CAD/CAM sistema.

Na slici 7 je pokazana uprošćena struktura sistema upravljanja i programiranja [10]. Polazi se od CAD modela za koji se u CAD/CAM sistemu generiše putanja alata (CLF – Cutter Location File). Za dobijenu putanju alata prvo se vrši njena verifikacija u raspoloživom softveru za simulaciju uklanjanja materijala, a zatim pristupa postprocesiranju CLF radi dobijanja G-koda. Robot LOLA50 se može konfigurisati u tri različite konfiguracije petoosnih mašina za obradu. Prvo se vrši izbor horizontalne ili vertikalne konfiguracije mašine, a zatim se bira postprocesor, saglasno standardu ISO6983, za dobijanje G-koda. Robot LOLA50 može da koristi konfigurisano upravljanje za sledeće konfiguracije mašina:

- (H) 5-osna horizontalna mašina (X,Y,Z,A,B),
- (V) 5-osna vertikalna mašina (X,Y,Z,A,B),
- (V) 5-osna vertikalna mašina (X,Y,Z,A,C),

gde X,Y,Z predstavljaju poziciju vrha alata, dok A, B i C predstavljaju uglove orijentacije alata. U svim pomenutim varijantama robot izvodi sva kretanja, dok je obradak nepokretan.

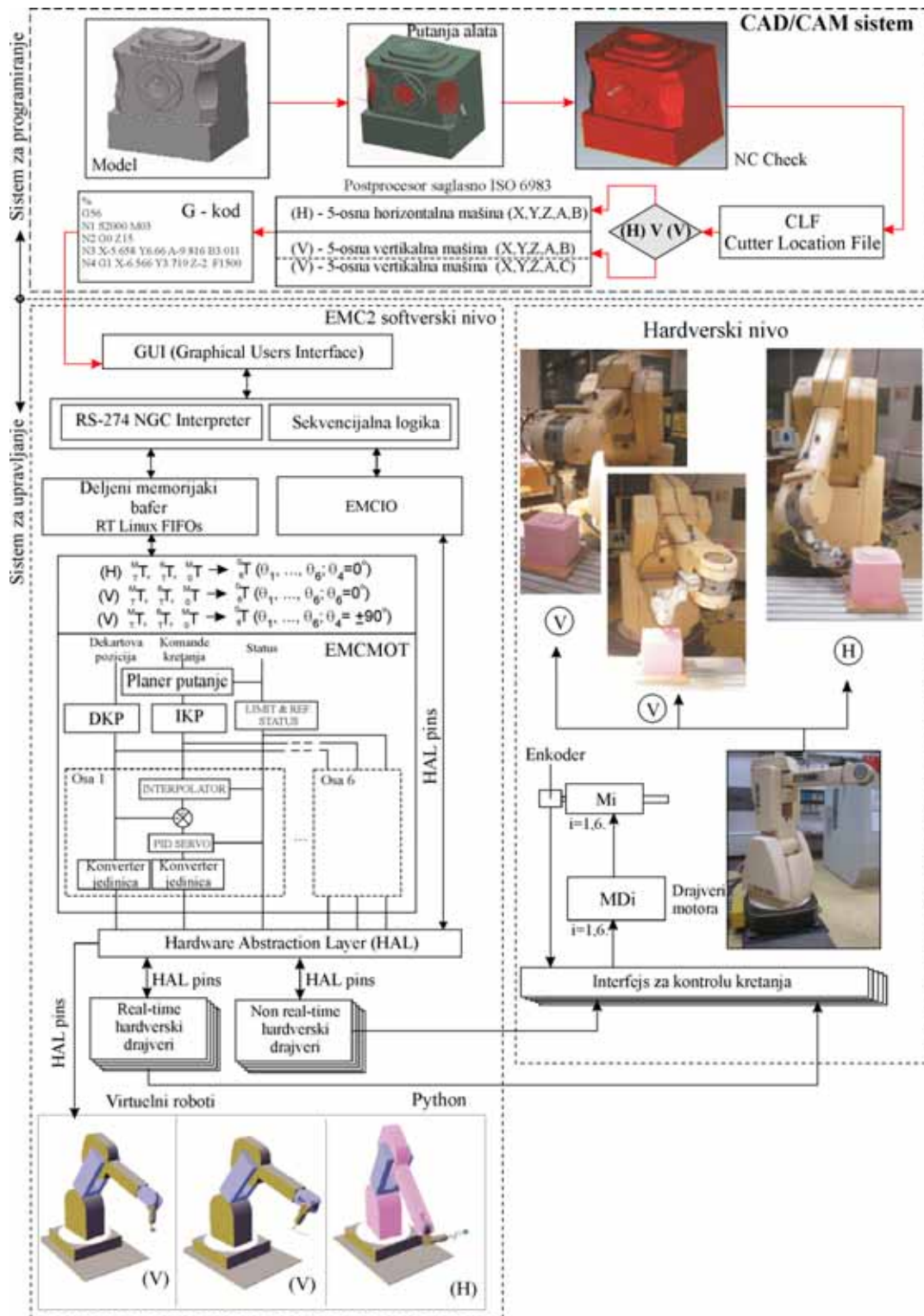
Posle postprocesiranja CLF-a za izabranu konfiguraciju robota, dobijeni G-kod se učitava u upravljački softver EMC2, gde se najpre vrši verifikacija programa na virtuelnoj mašini u realnom vremenu, slika 7, a zatim se upravljački signali sa sigurnošću mogu usmeriti ka izabranom realnom robotu kao petoosnoj glodalici. Virtuelni robot je konfigurisan preko nekoliko klasa predefinisanih u objektno orijentisanom jeziku Python.

EMC2 sadrži četiri programska modula: kontroler kretanja (EMCMOT), kontroler diskretnih ulaznih/izlaznih signala (EMCIO), kontroler procesa koji ih koordiniše i kolekciju tekstualnih ili grafičkih korisničkih interfejsa (GUI). Kontroler kretanja (EMCMOT) je modul koji radi u realnom vremenu i izvršava planiranje putanje, izračunavanje inverzne i direktne kinematike i određivanje željenih izlaza prema drajverima motora. Kontroler diskretnih ulazno/izlaznih (U/I) signala (EMCIO) upravlja svim U/I funkcijama koje nisu direktno povezane sa stvarnim kretanjima osa mašine. Kontroler procesa (EMCTASK) je projektovan slično diskretnom U/I kontroleru i odgovoran je za interpretiranje instrukcija G-koda. Kontroler procesa koordinira aktivnosti kontrolera kretanja i diskretnog U/I kontrolera. Ove aktivnosti su sadržane u NC programu, odnosno nizu instrukcija G i M koda, koje kontroler procesa interpretira i prosleđuje ih kontroleru kretanja ili diskretnom U/I kontroleru u odgovarajućim vremenskim trenucima. Grafički korisnički interfejs (GUI) spada u eksterne programe koji se koriste za pokretanje i komunikaciju sa EMC-om. Ova komunikacija podrazumeva uključivanje/isključivanje mašine, pomeranje osa mašine u ručnom režimu, slanje svih osa u referentni položaj, prelazak na automatski režim rada, start i stop programa. Između nekoliko korisničkih interfejsa izabran je najnapredniji AXIS interfejs, koji je vrlo intuitivan za korišćenje i koji poseduje veliki prozor sa grafičkom simulacijom putanje alata. Ovaj interfejs je proširen i prema specifičnim potrebama za primenu predloženog robotskog obradnog sistema.

HAL (Hardware Abstraction Layer) je zamišljen kao fleksibilni interfejs između kontrolera kretanja sa jedne strane i svega onoga što je potrebno za vezu sa korisnikom i mašinom sa druge strane. Pod tim se podrazumeva mnoštvo hardverskih interfejsa prema mašinama koji omogućavaju spregu kontrolera kretanja sa aktuatorima i mernim sistemima, kao i spregu sa virtuelnim robotima, koji se pogone identičnim upravljačkim signalima kao i realni roboti.

Prilikom pokretanja sistema upravljanja vrši se izbor između upravljanja virtuelnog ili stvarnog robota, slika 7. Uobičajeno je prvo pokrenuti virtuelni robot, izvršiti njegovu inicijalizaciju i postaviti obradak, a

onda pristupiti testiranju programa na dva načina: (i) prvi, učitavanjem G-koda u AXIS interfejs EMC2 softvera, na ekranu će se prikazati putanja alata i (ii) drugi, koji je od krucijalne važnosti, jer uključuje virtualni robot za završnu verifikaciju programa. Posle ovih verifikacija program se može bezbedno izvršavati na izabranoj konfiguraciji robota za obradu.



Slika 7. Struktura sistema upravljanja i programiranja

5. EKSPERIMENTI

Verifikacija sistema za upravljanje i programiranje za različite konfiguracije 5-osnih mašina razmatranih u radu, je realizovana obradom probnog dela koji zahteva višestranu obradu. Obradni sistem za obradu robotom omogućava i rekonfigurisanje robota iz jedne u drugu konfiguraciju na dva načina: bez fizičkih intervencija i sa fizičkom intervencijom (dodavanje nove interfejs ploče, slika 2), što je takođe bilo predmet verifikacije. Za programiranje je korišten CAD/CAM sistem PTC Creo2, sa idejom da se programiranje razmatranih robota za obradu ne razlikuje od programiranja 5-osnih vertikalnih i/ili horizontalnih mašina konfiguracija (X,Y, Z, A,B) i/ili (X, Y, Z, A, C). Pre obrade programi se testiraju na dva načina: grafičkom simulacijom putanje alata u grafičkom korisničkom okruženju AXIS u sistemu upravljanja EMC2, i na virtuelnom robotu za završnu verifikaciju programa. Na slici 8a je pokazan projektovani probni deo za višestranu obradu sa naznakom koji se delovi geometrije obrađuju troosno, koji petoosno i na kojoj konfiguraciji mašine, horizontalnoj ili vertikalnoj. Izgled završno obrađenog probnog dela od stirodura posle obrade pokazan je na slici 8b. Etape tokom obrade pokazane su na slikama od 8c do 8l.



Slika 8. Obrada test dela koji zahteva višestranu obradu

Detalji o samom toku obrade sa slike 8, mogu se iskazati i ovako:

- 3-osna obrada 3V, slika 8c,d, gornje površine probnog dela;
- 5-osna obrada 5V, slika 8e, udubljena dela elipsoida, i izgled završno kompletno obrađene gornje strane probnog dela, slika 8f;
- Predobrada i završna 3-osna obrada 3H, prednje strane probnog dela sa izgledom po uzoru na uobičajene probne delove, slika 8g;
- 5-osna (3+2) obrada, koja predstavlja obaranje ivica sa prednje strane pod 45° , 5H, slika 8h, 8i;
- 5-osna obrada 5H, delova kalota na oborenim ivicama sa prednje strane, slika 8j, 8k;
- 5-osna obrada 5H, kalote u sredini sa prednje strane, slika 8l.

Ovim eksperimentima je potvrđena mogućnost realizacije rekonfigurabilnog sistema upravljanja za različite konfiguracije 5-osnih robota za obradu razmatranih u ovom radu. Ovakav sistem se može direktno koristiti od strane CNC operatera i programera pri obradu delova sa kompleksnom geometrijom, od mekih materijala niže i srednje klase tačnosti.

6. ZAKLJUČAK

Razvijeni sistem upravljanja je baziran na generalizovanom pristupu modeliranja koji omogućava emuliranje različitih tipova horizontalnih i/ili vertikalnih 5-osnih mašina alatki, konfiguracija (X,Y,Z,A,B) za vertikalne i horizontalne mašine i konfiguracije (X,Y,Z,A,C) za vertikalnu mašinu. Sistem za programiranje je baziran na G-kodu čime je omogućeno korišćenje postojećih CAD/CAM sistema za višeosnu obradu. Eksperimentima obrade složenog probnog dela je potvrđena mogućnost realizacije rekonfigurabilnog sistema upravljanja za različite konfiguracije 5-osnih mašina. Ovim eksperimentom je verifikovano i emuliranje i horizontalne i vertikalne 5-osne mašine alatke u toku jednog zadatka čime se omogućava višestrana obrada složenih delova u jednom postavljanju bez fizičke intervencije na robotu. S obzirom da je programiranje bazirano na G-kodu sistem upravljanja i programiranja mogu direktno koristiti CNC operateri i programeri mašina alatki.

7. LITERATURA

- [1] Li W., Red E., Jensen G., Evans M.: *Reconfigurable mechanisms for application control (RMAC) applications*, Computer-Aided Design & Applications, 4(1-4), 549-556, 2007.
- [2] DePree J., Gesswein C.: *Robotic machining white paper project-Halcyon Development*, <http://www.halcyondevelop.com>, 2008.
- [3] Milutinovic D., Glavonjic M., Slavkovic N., Dimic Z., Zivanovic S., Kokotovic B., Tanovic Lj.: *Reconfigurable robotic machining system controlled and programmed in a machine tool manner*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53(9-12), 1217-1229, 2011.
- [4] NIST, <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/rcslib/>, oktobar, 2014.
- [5] LinuxCNC, <http://www.linuxcnc.org/>, oktobar, 2014.
- [6] Lee R.S., She C.H.: *Developing a postprocessor for three types of five-axis machine tools*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 13(9), 658-665, 1997.
- [7] ISO 841:2001 *Industrial automation systems and integration - Numerical control of machines - Coordinate system and motion nomenclature*.
- [8] Craig J.J.: *Introduction to robotics: mechanics and control, 2nd ed.*, Addison-Wesley, 1989.
- [9] Spong M.W., Vidyasagar M.: *Robot Dynamics and Control*, John Wiley & Sons, 1989.
- [10] Milutinovic, D., Slavkovic, N., Zivanovic, S., Glavonjic, M.: *Low-cost control and programming system for five-axis machining by articulated robots with 5 and 6 DOF*, 5th International Conference on Manufacturing Engineering, Proceedings, 133-142, Thessaloniki, Mechanical Engineering Department, School of Engineering, Aristoteles University Thessaloniki, october, 2014.

Milutinovic, D., Dimic, Z., Zivanovic, S., Slavkovic, N.

CONTROL AND PROGRAMMING OF 6-AXIS MACHINING ROBOT EMULATED AS HORIZONTAL AND/OR VERTICAL 5-AXIS MILLING MACHINE

Abstract: *This paper presents prototype of control and programming system of 6-axis machining robot. Developed control and programming system is based on generalized modelling approach. Generalized modelling approach enables emulating of horizontal and/or vertical 5-axis milling machines i.e. programming in G-code and using of existing CAD/CAM system for multi-axis machining. The possibilities of emulating horizontal and vertical 5-axis milling machines during the one task enables the multifaceted machining of complex parts in one setup of work piece.*

Keywords: *robot machining, kinematic modelling, control and programming*