

## Virtuelna petoosna mašina alatka integrisana sa sistemom programiranja i upravljanja

SASA T. ŽIVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,  
Mašinski fakultet, Beograd  
ZORAN Ž. DIMIĆ, LOLA Institut, Beograd

Originalni naučni rad  
UDC: 621.7.06:004.4  
DOI:10.5937/tehnika1903397Z

*U radu je pokazana jedna od koncepcija rekonfigurabilne stone petoosne mašine koja se upravlja koristeći PC Linux CNC sistem EMC2. Za potrebe realizacije upravljanja pokazan je i potreban kinematički model koji se ugrađuje u sistem upravljanja EMC2. U radu je predstavljeno konfigurisanje virtuelne mašine alatke koja se prvo integriše sa sistemom za programiranje, a zatim i sa sistemom za upravljanje. Verifikacija upravljanja i programiranja je ostvarena konfigurisanom virtuelnom mašinom koja radi na osnovu zadatog programa i iscrta programiranu putanju alata.*

**Ključne reči:** petoosna mašina alatka, virtuelna mašina alatka, programiranje, upravljanje, EMC2

### 1. UVOD

Programiranje savremenih petoosnih mašina alatki je nezamislivo bez primene CAD/CAM sistema, osim u slučajevima nekih elementarno jednostavnih obrada. Primena CAD/CAM sistema u domenu verifikacije programa omogućava prikaz simulacije putanje alata, simulaciju uklanjanja materijala (NC Check), simulaciju rada kompletnog modela mašine alatke na bazi putanje alata (Cutter Location File – CLF) i/ili programa za obradu (G - kôda). Pri tome je ovaj poslednji vid simulacije koji uključuje kompletan model mašine, koja radi po zadatom programu, vrlo značajan za petoosnu obradu zbog mogućnosti uočavanja eventualnih kolizija koje se ne mogu uočiti prethodno pomenutim simulacijama.

Cilj ovog rada je ostvariti simulaciju rada virtuelne petoosne mašine alatke, koja se upravlja na isti način kao i stvarna mašina i koja je integrisana sa upravljačkim sistemom, ovde Linux CNC sistem EMC2 [1], za krajnju verifikaciju programa pre puštanja mašine u rad.

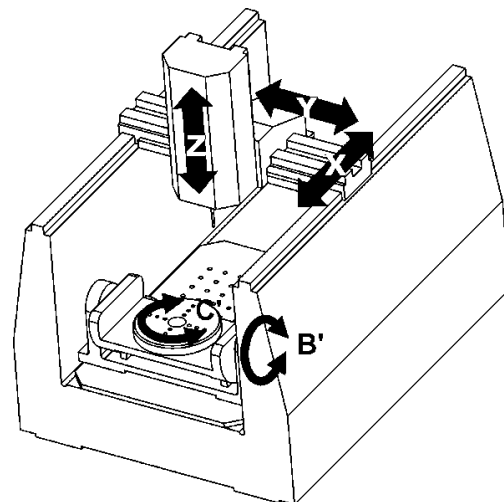
Pored toga, pošto je reč o mašini alatki koja je u fazi razvoja, virtuelna mašina integrisana sa upravljanjem je način da se verifikuje upravljanje i kinematički model mašine koji je implementiran u sistem upravljanja. Na taj način je moguće imati testirano up-

ravljanje i pre realizacije same mašine.

U radu se razmatra jedna od mašina iz klase stonih rekonfigurabilnih mašina [2-6] i to jedna petoosna sa serijskom kinematikom koja nosi oznaku S5D.

### 2. GEOMETRIJSKI I KINEMATIČKI MODEL PETOOSNE MAŠINE ALATKE S5D

Geometrijski model razmatrane petoosne mašine S5D je pokazan na slici 1. Osnovna mašina je troosna sa dodatnim dvoosnim obrtnim stolom koji ima rotacije B' i C' oko Y i Z ose respektivno. Dvoosni sto je postavljen poprečno zbog jednostavnog uklapanja u troosnu koncepciju mašine S3D, koja ima strukturu WVXYZT, pa je za petoosnu varijantu mašine osnovna strukturna formula WC'B'VXYZT.



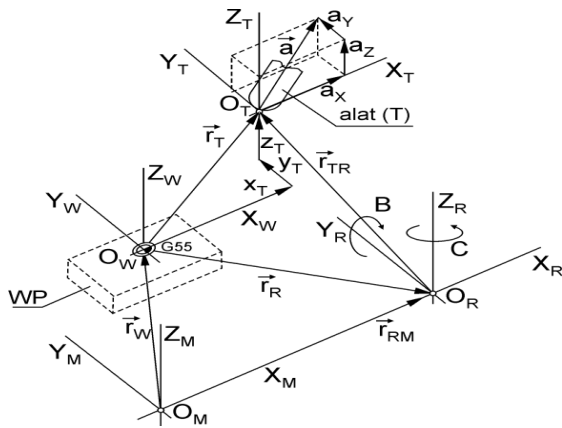
Slika 1 – CAD model petoosne mašine alatke S5D

Adresa autora: Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Kraljice Marije 16  
e-mail: s.zivanovic@mas.bg.ac.rs  
Rad primljen: 18.01.2019.  
Rad prihvaćen: 19.04.2019.

Petoosne mašine sa serijskom kinematikom se uobičajeno uspešno programiraju u nekom CAD/CAM okruženju, uz odgovarajući postprocesor [5, 7] koji treba da odgovara strukturi mašine.

Sledi prikaz formalizma postprocesorskog računa za petoosne mašine sa slike 1 i opis rešavanja inverznog kinematičkog problema, koji nam je potreban za virtuelnu mašinu integrisanu sa sistemom upravljanja mašine.

Potrebno je pripremiti model za ovaj račun. Na slici 2 pokazan kinematički model mašine [5], u kome su prikazani osnovni koordinatni sistemi obrtnih stolova ( $O_R$ ), alata ( $T_T$ ) i koordinatni sistem mašine ( $O_M$ ), za mašinu sa slike 1.



Slika 2 – Kinematički model petoosne mašine alatke tipa S5D

Prema kinematičkom modelu sa slike 2, sprovodi se postprocesorski račun za mašinu sa serijskom kinematikom, u osnovnom koordinatnom sistemu  $O_R$ . Za potrebe upravljanja mašinom potrebno je dobiti jednačine inverznog geometrijskog problema. U ovom kinematičkom modelu je dodat koordinatni sistem mašine  $O_M$ , u kojem je osnovni sistem,  $O_R$ , postavljen u centar obrtanja stolova. Koordinatni sistem programa je  $O_W$ , vezan za obradak (WP).

Posmatra se slučaj u kojem je koordinatni sistem obratka, korišćen u programiranju paralelan sa sistemima mašine, pa je za nultu tačku (na primer, G55, slika 2), potrebna samo translacija da bi mašina radila po interpretiranom programu i pripremom sa tako postavljenim priborom i pripremom na stolu. Sistem obratka ( $O_W$ ) se ne poklapa sa osnovnim sistemom mašine, što je opisano vektorom  $\vec{r}_R$  i to u sistemu  $O_W$ , u kojem važi i dobijeni program. Sistem alata ( $T$ ) ima koordinatni početak u  $O_T$ .

Programiranjem ovakve petoosne mašine u CAD/CAM sistemu formira se putanja alata u odnosu na obradak i upisuje u CLF, kao šestorka podataka: tri za vektor položaja vrha alata u sistemu programa ( $\vec{r}_T$  u  $O_W$ ) i tri za orijentaciju ose alata ( $\vec{a}$  u  $O_W$ ), za svaku

pozu mašine na putanji, opisano kao naredba GOTO/ $\vec{r}_T, \vec{a}$ , svojstvena formatu APT.

Koordinatni sistemi u ovom računu su:

koordinatni sistemi mašine  $O_M(X_M, Y_M, Z_M)$  i stolova  $O_R(X_R, Y_R, Z_R)$ , koordinatni sistem obratka  $O_W(X_W, Y_W, Z_W)$  i koordinatni sistem alata  $O_T \approx T_T(X_T, Y_T, Z_T)$ . Koordinate korišćenih vektora za orijentaciju alata ( $\vec{a}_0, \vec{a}$ ), vektora ( $\vec{r}_{T0}, \vec{r}_T, \vec{r}_R, \vec{p}, \vec{x}$ ) i matrica translacije za  $\vec{v}$  [ $T_T(\vec{v})$ ] su:

$$\vec{a}_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}; \quad \vec{a} = \begin{Bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \\ 0 \end{Bmatrix}; \quad \vec{r}_{T0} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad \vec{r}_T = \begin{Bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad \vec{r}_R = \begin{Bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \\ 1 \end{Bmatrix};$$

$$\vec{p} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad \vec{x} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad [T_T(\vec{v})] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & v_x \\ 0 & 1 & 0 & v_y \\ 0 & 0 & 1 & v_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Ostalo:  $\vec{v} = \{v_x, v_y, v_z\}^T$  je neki dati vektor translacije, T je alat, W je obradak.

Da bi mašina zauzela zadatu pozu iz svoje referentne pozicije, mašina treba obrtanjem stolova da usmeri programirani ort ose alata ( $\vec{a}$ ) na  $\vec{a}_0$ , kakav mašina jedino i ima, a onda translacionim osama da navede vrh alata ( $T_T$ ) na njegovu zaokrenutu programiranu poziciju, posle već sprovedenih obrtanja stolova.

Stolovi se obrću za  $-C$ , pa za  $-B$ . Na petoosnoj mašini S5D, sa strukturom WC'B'VXYZT, ose obrtanja stolova su paralelne sa osama Z i Y u koordinatnim sistemima ove mašine. Ugao obrtanja ima negativni predznak pošto ovde rotacije ostvaruje obradak na dvoosnom obrtnom stolu. Po standardu je obrtanje oko orta  $\vec{j}$  ugao B i oko orta  $\vec{k}$  ugao C.

Ovako opisana obrtanja stolova, pa translacije alata, mogu se formalizovati kao direktna geometrija mašine [5, 7], pomoću sledeće dve jednačine, respektivno:

$$Tr(\vec{r}_R) \cdot Rot(\vec{k}, -C) \cdot Rot(\vec{j}, -B) \cdot Tr(\vec{p}) \cdot \vec{a}_0 = \vec{a}$$

$$Tr(\vec{r}_R) \cdot Rot(\vec{k}, -C) \cdot Rot(\vec{j}, -B) \cdot Tr(\vec{p}) \cdot \vec{r}_{T0} = \vec{r}_T \quad (1)$$

Izgled matrice translacije  $Tr(\vec{v})$  za neki vektor  $\vec{v}$  je već dat. I matrice rotacija oko osa koordinatnih sistema mašine imaju uobičajeni oblik, svojstven homogenim koordinatama.

U jednačini (1) je  $\vec{p}$  potrebno kretanje alata, u odnosu na obradak, u koordinatnom sistemu  $O_R$  mašine, dok se stvarna potrebna kretanja osa mašine, koja

se unose u program, mogu opisati vektorom  $\vec{g} = \{X \ Y \ Z \ 1\}^T$ . Drugo rešenje je par uglova obrtnih osa. U ovom slučaju su to uglovi C i B. Rešenja jednačina (1) traže se odvojeno. Tako se dobija rešenje za inverzni geometrijski problem.

Za potrebe integrisanja inverznog geometrijskog problema u upravljanje mašine, potrebno je dobiti rešenja za translatorsna pomeranja X, Y i Z, tako da mašina zauzme zadatu pozu iz G koda, gde obrtanjem stolova usmerava programirani ort ose alata, a onda translatorsnim pomeranjima navede vrh alata na njegovu orijentisanu programiranu poziciju, koja je sprovedena rotacijama –B i –C.

Sa uvedenim smenama sC za sin(C), cC za cos(C), sB za sin(B), cB za cos(B), mogu se kompaktno napisati rešenja inverznog geometrijskog problema za za pozicije translatorsnih osa mašine (X, Y, Z), posle sređivanja, obično se piše u sledećem obliku:

$$\begin{aligned} X &= x_R + p_x, \\ p_x &= (x_T - x_R) \cdot cB \cdot cC - (y_T - y_R) \cdot cB \cdot sC + (z_T - z_R) \cdot sB \\ Y &= y_R + p_y, \quad p_y = (x_T - x_R) \cdot sC + (y_T - y_R) \cdot cC \\ Z &= z_R + p_z, \\ p_z &= -(x_T - x_R) \cdot sB \cdot cC + (y_T - y_R) \cdot sB \cdot sC + (z_T - z_R) \cdot cB \end{aligned} \quad (2)$$

Rešenja (2) se ugrađuju u sistem kojim se upravlja ova mašina. Provera je izvršena na primeru virtuelne mašine sa obrtnim stolom unutar noseće strukture mašine.

### 3. SISTEM ZA PROGRAMIRANJE I UPRAVLJANJE SA VIRTUELNOM MAŠINOM ALATKOM

Sistem za programiranje petoosnih mašina alatki je uobičajeno neko CAD/CAM okruženje, dok je kao sistem upravljanja izabran sistem otvorene arhitekture na PC Linux CNC platformi poznat kao Enhanced Machine Control - EMC2 [1].

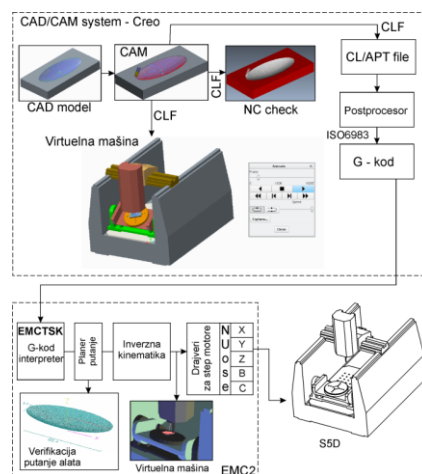
Na slici 3 je prikazana osnovna struktura sistema za programiranje i upravljanje petoosnom mašinom S5D.

#### 3.1 Virtuelna mašina alatka u sistemu za programiranje

Izabrano okruženje za programiranje je CAD/CAM sistem PTC CREO. Postprocesiranje se vrši kao za petoosnu glodalicu, za koju je konfigurisan postprocesor primenom generatora postprocesora za mašinu konfiguracije C'B'OXYZ, koja se razmatra u ovom radu.

Za ovu mašinu je pripremljena i virtuelna mašina u okviru sistema za programiranje, koja radi na bazi učitane putanje alata (CLF) i prethodi postprocesiranju programa. Format programa, koji koristi upravljanje EMC2 za petoosnu mašinu S5D, zasniva se na G kôdu po standardu

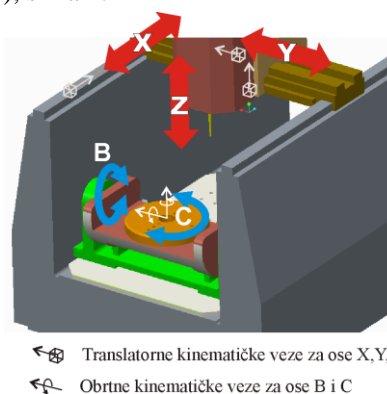
standardu RS274 NGC, odnosno ISO6983, koji je u ovom slučaju po formatu sličan programima za Fanuc CNC sisteme.



Slika 3 – Osnovna struktura sistema za programiranje i upravljanje petoosnom mašinom S5D

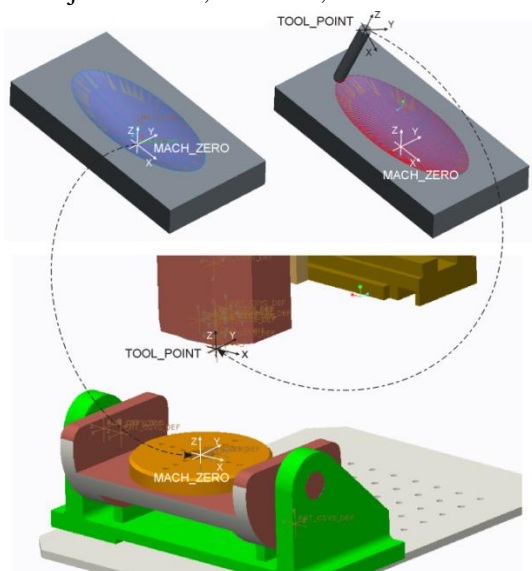
Izabrani metod programiranja, omogućava verifikaciju programa za obradu simulacijom putanje alata, simulacijom uklanjanja materijala i simulacijom rada mašine po zadatom programu. Zajedničko za sve ove tri vrste simulacija je da počivaju na putanji alata odnosno CLF-u. Međutim, vrlo je bitno ostvariti i verifikaciju programa posle procesa postprocesiranja i dobijanja G koda. Ovo se realizuje u sistemu za upravljanje EMC2, kroz simulaciju putanje alata na bazi G kôda i simulaciju rada virtuelne mašine integrisane sa upravljanjem, koja se pogoni identičnim upravljačkim signalima kao i stvarna mašina. Konfigurisanje ove virtuelne mašine je pokazano u potpoglavlju 3.2.

Da bi simulacija rada virtuelne mašine u sistemu za programiranje bila moguća, potrebno je mašinu konfigurisati prema odgovarajućoj kinematičkoj strukturi i sa odgovarajućim kinematičkim vezama. Potrebne kinematičke veze za razmatranu petoosnu mašinu S5D su tri translacije XYZ koje koriste vezu tipa klizača (Slider), i dve rotacija B i C, koje koriste obrtne veze (Pin), slika 4.



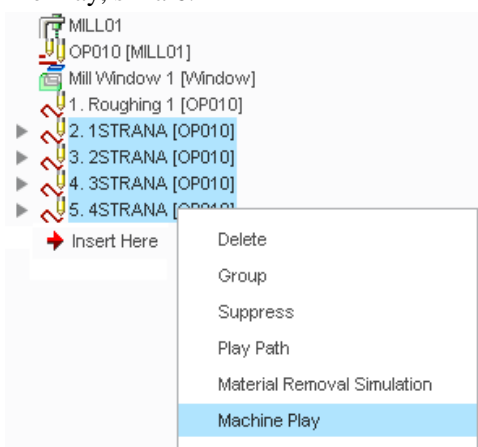
Slika 4 - Prikaz kinematičkih veza rekonfigurabilne petoosne mašine

Po završetku definisanja pokretnih delova mašine, slika 4, neophodno je napraviti vezu između koordinatnih sistema na obratku i alatu sa jedne strane i virtualne mašine sa druge strane u okviru korišćenog CAD/CAM sistema (ovde PTC Creo). Na virtualnoj mašini alatki se definišu koordinatni sistem MACH\_ZERO, na radnom stolu i TOOL\_POINT na čelu glavnog vrtenena. Koordinatne sisteme sa istim nazivima imaju i obradak, kao i alat, slika 5.



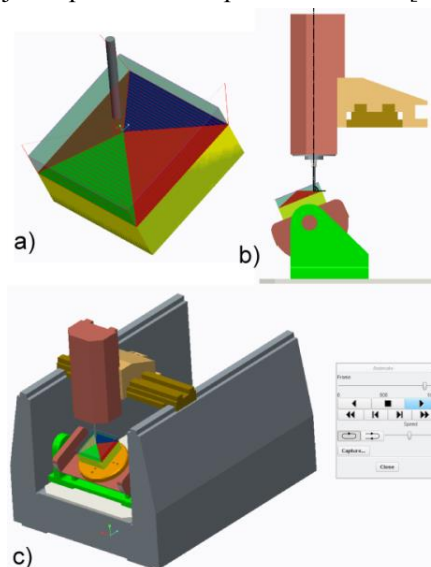
Slika 5 – Poklapanje koordinatnih sistema obratka i alata i koordinatnih sistema na mašini

Koordinatni sistem MACH\_ZERO je smešten u preseku obrtnih osa B i C, i ova tačka predstavlja pivot obrtnih osa. Poklapanjem odgovarajućih koordinatnih sistema alata i obratka ostvaruje se postavljanje virtualnog alata na virtualnu mašinu, odnosno virtualnog obratka sa pripremkom, na radni sto virtualne mašine. Posle uspešnog virtualnog baziranja obratka i postavljanja alata, moguće je pokrenuti simulaciju rada virtualne mašine alatke po zadanom programu, opcijom Machine Play, slika 6.



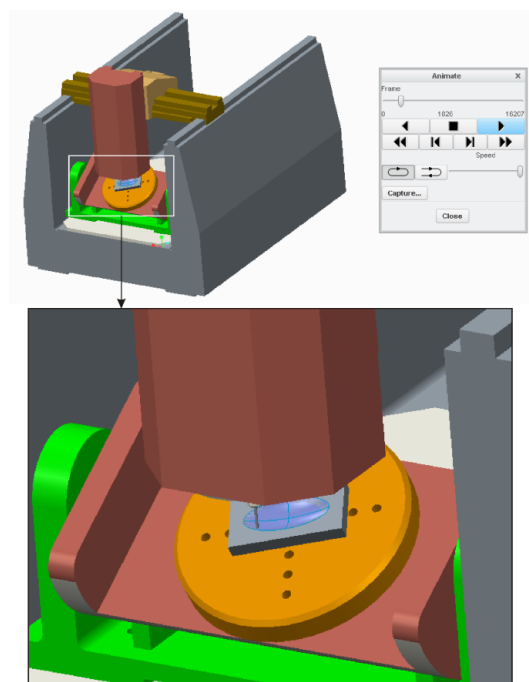
Slika 6 – Pokretanje rada virtualne mašine opcijom Machine play za prvi primer

U radu su razmatrana dva primera simulacija. Prvi, predstavlja tzv, 3+2 obradu, gde se obrtne ose koriste za pozicioniranje obratka tako da osa alata bude upravna na površinu koja se obrađuje, na primeru obrade pravilne četvorostrane piramide, slika 7. Ovaj primer je eksperimentalno potvrđen u radu [5].



Slika 7 - Simulacije kinematike petoosne mašine S5D za zadati program obrade

Drugi primer se odnosi na petoosnu obradu elipsoastog udubljenja, gde je za rad potrebno simultano interpolirati svih pet osa mašine. Primer ove simulacije u CAD/CAM okruženju na bazi CLF-a pokazan je na slici 8.



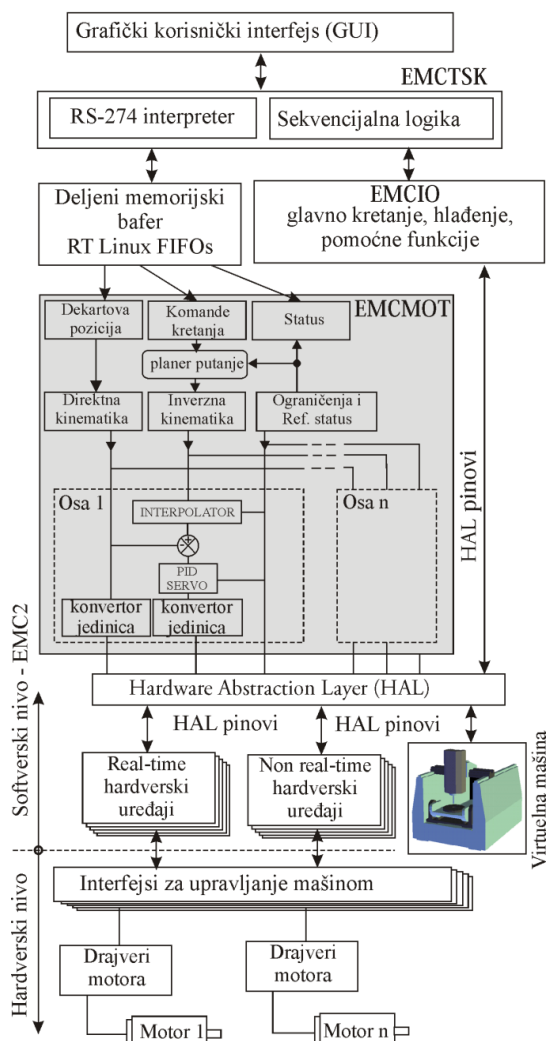
Slika 8 - Simulacije kinematike petoosne mašine S5D za zadati program obrade

Oba pokazana primera su u poglavlju 4, verifikovana i u radu na virtuelnoj mašini integriranoj sa upravljačkim sistemom EMC2.

### 3.2. Sistem za upravljanje EMC2

Za upravljanje petoosnom mašinom izabrani softver otvorene arhitekture EMC2 predstavlja real-time softver za upravljanje mašinama alatkama i robotima, čiji se kod može slobodno koristiti, modifikovati i distribuirati (GNU-General Public License). EMC2 omogućava programiranje mašina po standardu RS-274, odnosno ISO 6983. U konfigurisanju upravljanja na bazi EMC2, primenjena su iskustva iz prethodnih radova [8-11].

Interna softverska struktura EMC2 je prikazana na slici 9 i sadrži četiri osnovna programska modula [10]: kontroler kretanja (EMCMOT), kontroler diskretnih U/I (ulazno/izlaznih) signala (EMCIO), kontroler procesa koji ih koordiniše (EMCTASK) i kolekciju tekstualnih, ili grafičkih korisničkih interfejsa (GUI).



Slika 9 – Interna softverska struktura upravljanja na bazi EMC2

EMCTSK (Task coordinating module) je modul koji vrši raspoređivanje naredbi na mašini i sadrži interpreter G - kôda po standardu RS274 NGC, odnosno ISO6983.

EMCIO (Discrete I/O Controller) je modul koji obavlja sve komunikacije koje nisu vezane za upravljanje kretanjima i obuhvata podređene module za glavno vreteno, izmenu alata, uključivanje i isključivanje hlađenja, pomoćne M funkcije, SVE STOP, podmazivanje, ...

EMCMOT (Motion Controller) je modul koji radi periodično, u realnom vremenu i obuhvata planer putanje, koji uključuje i integrisana rešenja inverzne i direktne kinematike kao i generisanje upravljačkih signala za pogone mašine. U ovom modulu se obavlja i zatvaranje povratnih sprega, generisanje narednih pozicija, interpolacija putanje između programiranih pozicija, kontrola graničnih pozicija i referentnih pozicija osa mašine itd.

Modularna struktura upravljačkog sistema otvorene arhitekture EMC2 je doprinela njegovoj fleksibilnosti, kako u primeni na mašinama sa serijskom (troosnom i višeosnom) kinematikom, tako i na mašinama sa paralelnom i hibridnom kinematikom. EMC2 omogućava i povezivanje sa različitim hardverskim i softverskim dodacima što je zasluga HAL-a (Hardware Abstraction Layer) koji je zamišljen kao fleksibilni interfejs između kontrolera kretanja sa jedne strane i interfejsa za vezu sa korisnikom i mašinom sa druge strane. Pod tim se podrazumeva i mnoštvo hardverskih interfejsa prema mašinama koji omogućavaju spregu kontrolera kretanja sa aktuatorima i mernim sistemima.

Kao grafički korisnički interfejsi, mogu se koristiti nekoliko različitih: TkLinuxCNC, Mini GUI, Axis GUI, GMOCCAPY GUI. Najčešće je u upotrebi Axis korisnički interfejs, koji je i korišćen pri konfigurisanju upravljanja. Ovo okruženje je vrlo intuitivno za rad, sa prepoznatljivim ikonicama, koje olakšavaju rad rukovaoca. Pored toga, pogodnost Axis okruženja je i mogućnost integracije sa virtuelnom mašinom, radi verifikacije programa pre obrade na stvarnoj mašini, što je pokazano u narednom poglavlju.

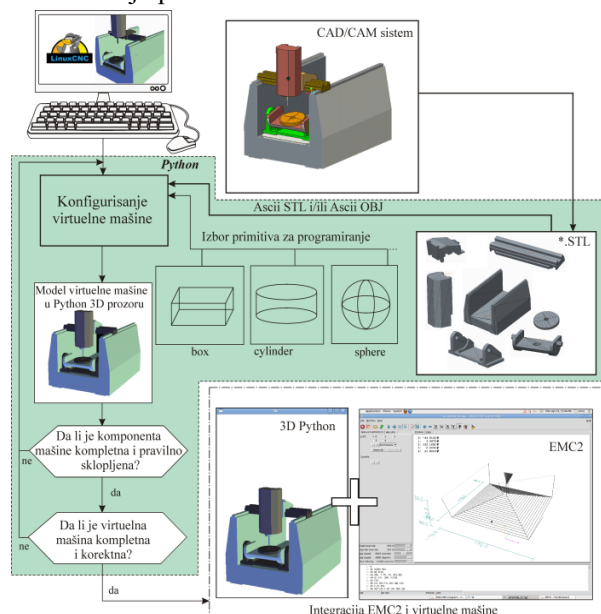
### 3.3. Konfigurisanje virtuelne mašine integrirane sa EMC2

Za konfigurisanje virtuelne mašine odabrano je Python 3D okruženje. Python je programski jezik koji može da se koristi za programiranje grafičkih korisničkih interfejsa i omogućava programiranje i povezivanje geometrijskih primitiva, kao i njihovu integraciju sa EMC Axis GUI okruženjem [8-12]. U njemu je programirano i samo okruženje Axis.

Za potrebe simulacije virtuelne mašine koristi se set Python funkcija Vismach [12], koje se mogu koristiti za kreiranje i animacije rada modela mašina.

Vismach prikazuje model mašine u 3D prikazu pri čemu su pokretni delovi mašine virtuelno osnaženi i pomeraju se sa promenama vrednosti odgovarajućih signala koje dobijaju preko HAL pin konekcije. Virtuelna mašina u 3D prozoru se može zumirati, pomerati, rotirati.

Osnovni tok aktivnosti u konfigurisanju virtuelne mašine u Python 3D okruženju je: (i) kreiranje HAL konekcije koje kontrolišu kretanje i koje vrše osnaživanje pokretnih osa; (ii) kreiranje osnovnih komponenata mašine, koje čine njenu strukturu. Komponente se mogu programirati u samom okruženju Python jezika i grupisati u podsklopove (kolekcije) ili se mogu učitavati kao gotove komponente; (iii) kreiranje pokretnih elemenata mašine; (iv) kreiranje animiranih komponenata mašine; (v) sklapanje modela mašine učitavanjem i pozicioniranjem komponenata na odgovarajuće mesto. Osnovni koncept konfigurisanja virtuelne mašine je pokazan na slici 10.



Slika 10 – Koncept konfigurisanja virtuelne mašine u Python okruženju

Konfigurisanje virtuelne mašine se praktično svodi na programiranje koordinata geometrijskih primitiva, za definisanje sklopova virtuelne mašine. Posao se olakšava modeliranjem uprošćenog modela mašine u nekom CAD sistemu, odakle se mogu preuzeti potrebne koordinate, a onda se pristupa programiranju komponenata virtuelne mašine u Python programskom jeziku. Komponente virtuelne mašine mogu biti značajno uprošćene i opisane pomoću elementarnih geometrijskih primitiva (Box, Cylinder, Sphera...), slika 10. Položaj primitiva se programira u odnosu na zadati referentni koordinatni sistem. Primitivi, koji čine jednu celinu, grupišu se u kolekcije (Collection). Pokretni elementi se povezuju odgovarajućim vezama, obrtnim, ili translatorskim. Svi parametri virtuelne mašine treba

da budu korektno postavljeni kao na stvarnoj mašini, a smerovi osa postavljeni prema definisanom kinematičkom modelu. Tokom programiranja radi se jedna po jedna komponenta i odmah vrši provera da li je model u dostignutoj fazi u redu. Uočene greške se odmah ispravljaju, ponovo se vrši provera i ide na definisanje naredne komponente. Ovo važi za slučaj kada se kompletna virtuelna mašina programira u Python-u.

Drugi način omogućava dobijanje vernijih kopija realnih mašina u virtuelnom svetu, jer je moguće učitavanje kompletnih podsklopova mašine, koja je modelirana u CAD/CAM okruženju. Potrebno je komponente pripremiti u Ascii STL ili Ascii OBJ foormatu, koje Python može direktno učitati u referentnom koordinatnom sistemu, nakon čega treba komponentu orijentisati i postaviti na odgovarajuće mesto u sklopu virtuelne mašine. Primer osnovnih parametara i učitanih pripremljenih komponenata mašine u Ascii STL formatu je pokazan na slici 10. Za pripremu komponenata virtuelne mašine razmatrane u radu, sve komponente su učitane kao STL modeli, osim alata koji je programiran u Pythonu kao izabrani primitiv Cylinder.

Kao rezultat se dobija virtuelna mašina u Python 3D okruženju, integrisana sa grafičkim interfejsom Axis. Virtuelna mašina radi u Python 3D prozoru i omogućava kretanje osa mašine, sa iscrtavanjem putanje alata. Ova simulacija je nastala kao rezultat izvršenja programa (G - kôda) u realnom vremenu, na isti način kao da se vrši upravljanje stvarnom mašinom. Ovo je vrlo bitno kada se vrši prvo probno puštanje mašine sa novim upravljanjem, ili kada mašina još uvek nije realizovana, a potrebno je da se izvrši testiranje i verifikacija upravljanja. Na taj način je moguće upravljanje kompletirati i verifikovati pre završetka stvarne mašine.

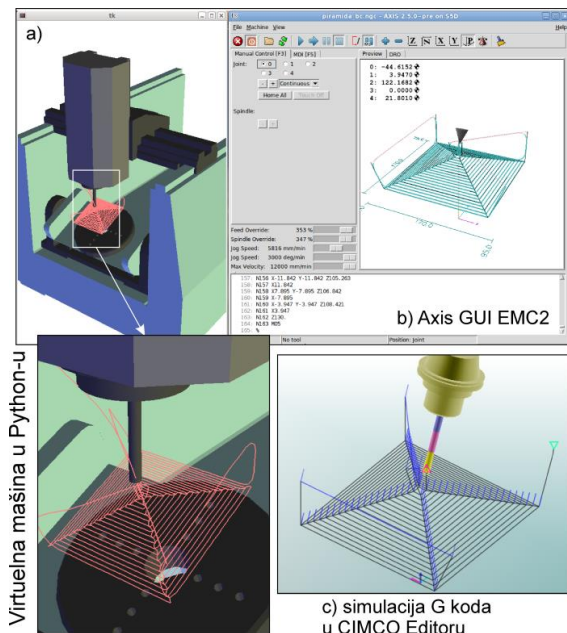
#### 4. SIMULACIJA RADA VIRTUELNE MAŠINE INTEGRISANE SA UPRAVLJAČKIM SISTEMOM EMC2

U cilju verifikacije upravljanja kao i sistema za programiranje, pripremljeni su primeri za testiranje rada virtuelne mašine integrisane sa upravljačkim sistemom EMC2.

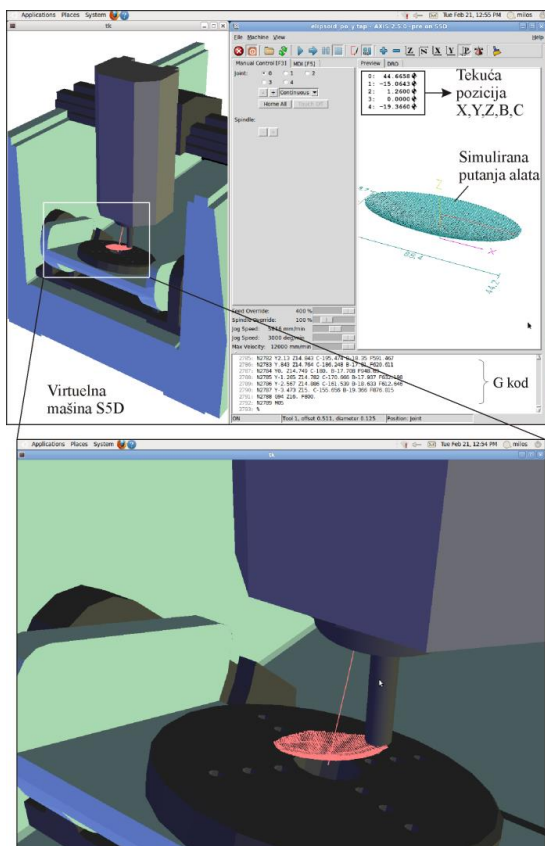
Programi su pripremljeni u PTC Creo [13] okruženju. Prvi primer se odnosi na obradak u obliku pravilne četvorostrane piramide. Za obradu ovog dela je potrebno naginjanje obrtnog stola oko ose B radi zauzimanja orijentacije alata i oko ose C za pozicioniranje strane piramide koja se obrađuje posle čega sledi troosna obrada. Ovakva obrada je poznata kao 3+2 i pokazana je na slici 11.

Za rad se koristi okruženje Axis GUI, slika 11b, na isti način kao i za stvarnu mašinu. Virtuelna mašina S5D koja iscrtava programiranu putanju na isti način

kao što bi to uradila i stvarna mašina, je pokazana na slici 11a. Na slici 11c je cilju poređenja pokazana i simulirana putanja G koda u drugom programu CIMCO editoru [14].



Slika 11 – Simulacija rada virtuelne mašine integrisane sa EMC2, primer drugi 3+2 obrada



Slika 12 – Simulacija rada virtuelne mašine integrisane sa EMC2, primer prvi petoosna obrada

Drugi primer se odnosi na punu petoosnu obradu, gde je za rad potrebna simultana interpolacija svih 5 osa i to na obradku koji ima oblik elipsastog udubljenja. Ovaj primer virtuelne obrade je pokazan na slici 12. Prikazane simulacije rada virtuelne mašine po zadatom programu ukazale su na tačnost uspostavljenog kinematičkog modela koji je integrisan u upravljanje EMC2. Virtuelna mašina je korektno konfigurisana i ostvaruje kretanja na propisani način.

## 6. ZAKLJUČAK

Razvoj virtuelnih okruženja, za programiranje i simulaciju rada mašina alatki su značajni iz više razloga: (i) potreba verifikacije upravljačkih programa, (ii) verifikacija upravljanja pri razvoju mašina alatki nove generacije, sa kompleksnom kinematikom, (iii) obuka i edukacija za programiranje i rukovanje mašinom. Poslednji pomenuti razlog je posebno značajan za obrazovne ustanove, jer je na taj način i bez postojanja fizičkih resursa novih mašina alatki, moguće ostvariti obuku za njihovo programiranje i rukovanje, primenom odgovarajućih virtuelnih mašina.

U radu su razmotrena dva tipa virtuelnih mašina. Prvi tip je u sastavu sistema za programiranje, i ovde se simulacija rada ostvaruje na bazi putanje alata (CLF). Drugi tip virtuelne mašine je u sastavu sistema upravljanja i ovde se simulacija rada ostvaruje na bazi G koda i generisanih upravljačkih signala isto kao i na realnoj mašini.

Korišćen je sistem upravljanja otvorene arhitekture EMC2, koji radi na PC Linux CNC platformi i kod koga je ostvarena mogućnost integrisanja virtuelne petoosne mašine alatke sa upravljačkim sistemom, tako da se njome upravlja na isti način kao i stvarnom mašinom.

Ovakvom integracijom se omogućava verna simulacija kretanja virtuelne mašine alatke, koja radi po zadatom programu upravljanja. Simulacijom rada virtuelne mašine, mogu se uočiti eventualne kolizije, koje mogu nastati u toku izvršenja programa, a koje se ne mogu uočiti samo na osnovu simulacije putanje alata ili simulacije uklanjanja materijala.

Simulacija rada numerički upravljanih mašina alatki primenom virtuelnih mašina je najbezbedniji i najisplativiji način verifikacije programa, posebno za potrebe petoosnih mašina alatki. Izvršavanje neverifikovanih programa na mašinama može biti opasno i za mašine i za operatera. Zbog toga je ovaj vid verifikacije programa vrlo važan.

## 7. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu „TR035022 Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema”, koji je podržan od strane Ministarstva za

prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] Linux CNC, Enhanced Machine Control - EMC2, webpage, [citirano 19.12.2018]. Dostupno na: <http://www.linuxcnc.org/>
- [2] Koren Y, Heisel U, Jovane F, Moriwaki T, Pritschow G, Ulsoy G, Brussel H.V, Reconfigurable Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, Vol. 48, No.2, pp. 527-540. 1999.
- [3] Landers G, Mid K, Koren Y, Reconfigurable Machine Tools, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 50, No.1, pp. 269-274, 2001.
- [4] Glavonjić M, Živanović S, Kokotović B, Konfigurisanje stonih petoosnih mašina alatki, *TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije*, 62, Broj 5, Godina LXVIII, str. 857-863, 2013.
- [5] Živanović S, Glavonjić M, Kokotović B, Jedna stona rekonfigurabilna mašina alatka sa hibridnom kinematikom, *TEHNIKA: Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije*, 64, Broj 2, Godina LXX, str 261-269, 2015.
- [6] Glavonjić M, Živanović S, Kokotović B, Konceptije multifunkcionalnih i rekonfigurabilnih stonih petoosnih mašina alatki, *XIII međunarodni naučno-stručni Simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2014*, Zbornik radova Vol. 13, Jahorina, Republika Srpska, BiH, str. 539-544, 19-21. mart 2014.
- [7] Lee R. S, She C. H, Developing a postprocessor for three types of five-axis machine tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 13, No. 9, pp. 658-665, 1997.
- [8] Živanović S, Glavonjić M, Dimić Z, Konfigurisanje virtuelne mašine troosne glodalice sa paralelnom kinematikom za simulaciju i verifikaciju upravljanja i programiranja, *XI međunarodni naučno-stručni Simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2012*, Zbornik radova, Vol. 11, Jahorina, Republika Srpska, BiH, str. 464-469, 21-23. mart 2012.
- [9] Živanović S, Dimić Z, Slavković N, Milutinović D, Glavonjić M, Configuring of virtual robot for machining and application in off-line programming and education, in Proc. *1st International Scientific Conference Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications COMETA 2012*, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, Jahorina, B&H, Republic of Srpska, pp.125-132, 28-30. November 2012.
- [10] Dimić Z, Zivanović S, Vasić M, Cvijanović V, Krosnjarić A, Virtual Simulator for five axis vertical Turning Center in Python graphical Environment Integrated with Open Architecture Control System, in Proc. *10th International Scientific Conference on Flexible Technologies - mma 2009*, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Production Engineering, Novi Sad, Serbia, pp. 94-97, october 2009.
- [11] Dimić Z, Milutinović D, Zivanović S, Kvirgić V, Virtual environment in control and programming system for reconfigurable machining robot, *Tehnički vjesnik / Technical Gazette*, Vol. 23, No. 6, pp. 1821-1829, 2016.
- [12] Vismach, [citirano 10.11.2018]. Dostupno na: [http://linuxcnc.org/docs/html/gui/vismach.html#\\_start\\_the\\_script](http://linuxcnc.org/docs/html/gui/vismach.html#_start_the_script)
- [13] PTC Creo, [citirano 10.11.2018]. Dostupno na: <https://www.ptc.com/>
- [14] CIMCO Edit, [citirano 10.11.2018]. Dostupno na: <http://www.cimco.com/software/cimco-edit/overview/>

#### SUMMARY

##### A VIRTUAL 5-AXIS MACHINE TOOL INTEGRATED WITH THE PROGRAMMING AND CONTROL SYSTEM

*The paper presents one of the concepts of a reconfigurable desktop 5-axis machine that is operated using the PC Linux CNC system EMC2. For realization of control system, the necessary is included kinematic model, which is embedded in the EMC2 control system. The paper presents configuring of the virtual machine tool that is first integrated with the programming system, and then with the control system. Verification of the control and programming system is achieved using configured virtual machine which is running on the basis of the given program and plotting the programmed tool path.*

**Key words:** 5-axis machine tool, Virtual machine, programming, control, EMC2