

KONCEPT RAZVOJA CNC UPRAVLJANJA ZA MAŠINE ALATKE SPECIFIČNE KONFIGURACIJE NA BAZI EMC SOFTVERA²⁾

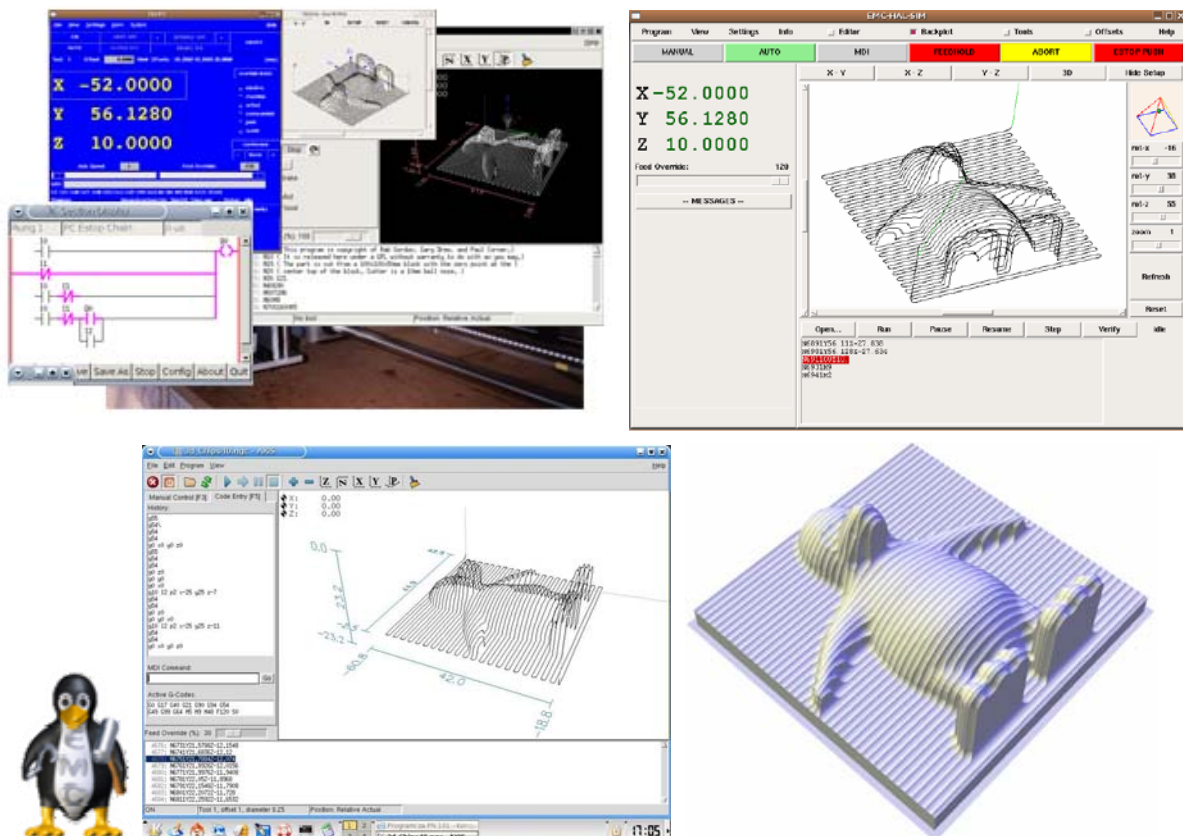
Rezime

Ključne teme istraživanja i razvoja u istraživačkim institucijama i vodećim industrijama visokorazvijenih zemalja je razvoj kvalitetnih CNC upravljačkih sistema na osnovi open-source softverskih paketa. Ovaj pravac istraživanja je vrlo aktuelan širom sveta, pa i kod nas. U radu su predstavljeni istraživanja iz sveta, dosadašnji rezultati koji su ostvareni na mašinama kod nas i pravci budućih istraživanja u ovom domenu.

Ključne reči: upravljanje, mašina alatka, paralelna mašina, robot

1. UVOD

Istraživanja u oblasti upravljanja višeosnim rekonfigurabilnim multifunkcionalnim obradnim sistemima su postala dominantna u istraživačkim institucijama koja se bave razvojem numeričkih upravljačkih sistemima. Pojava *open-source* softverskog paketa EMC (*Enhanced Machine Controller*) i novog *AXIS* grafičkog interfejsa, u mnogome je doprinela unapređenju razvoja nove generacije CNC upravljačkih sistema. Pored *AXIS* interfejsa, raspoloživi su *Mini* i *TkEmc* i drugi. Ipak najčešće je u upotrebi prvi od pomenutih, sa vrlo intuitivnim okruženjem. Primeri ovih interfejsa su dati na slici 1.



Slika 1. Interfejsi EMC sistemskog softvera na PC Linux platformi

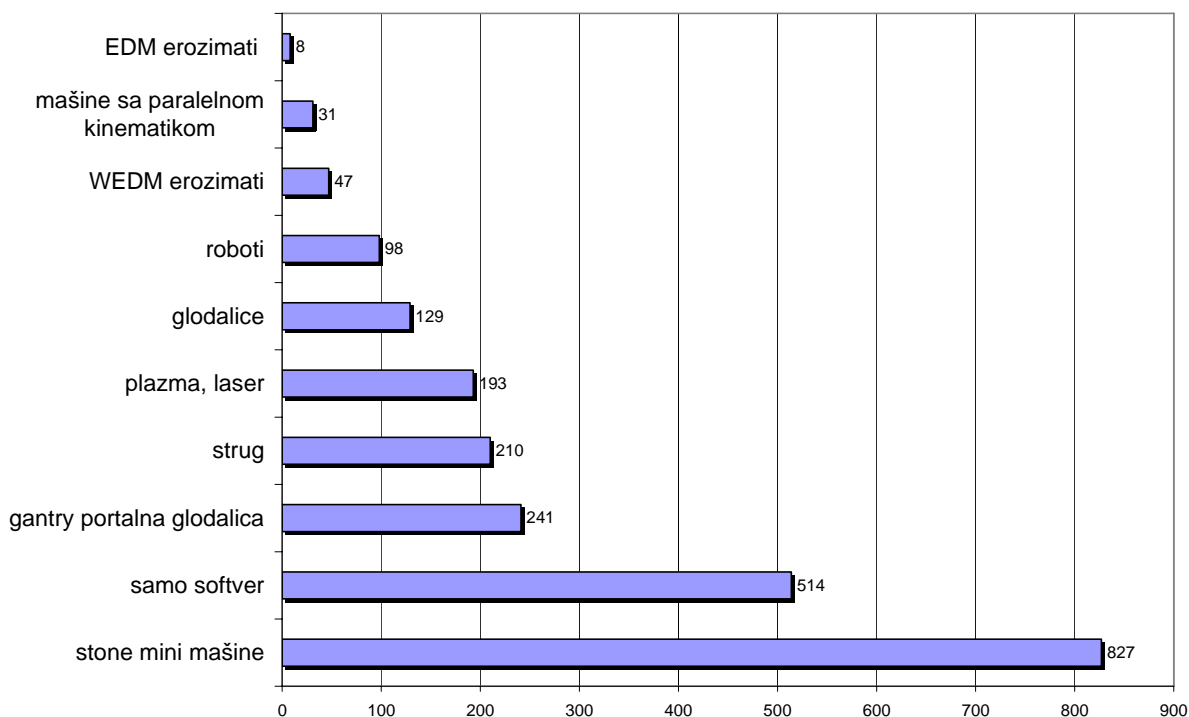
¹⁾ Zoran Dimić, dipl. inž, LOLA Institut, (zoran.dimic@sbb.co.yu), mr Saša Živanović, asistent (szivanovic@mas.bg.ac.yu), Mašinski fakultet, Beograd, dr Vladimir Kvrđić, dipl. inž, LOLA Institut, (vkvrđic@eunet.yu),

²⁾ Rađeno u okviru priprema za prijavu projekata: Istraživanje i razvoj nove generacije vertikalnih petoosnih strugarskih obradnih centara (evidencioni broj 14026) i Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije (evidencioni broj 14034).

Dostupnost EMC je učinila da ekskluzivno pravo na izradu CNC-a više ne pripada vodećim svetskim firmama sa proizvodnjom i razvojem u ovoj oblasti, kao sto su SIEMENS, FANUC, HAIDENHAIN, ... Sve više je univerzitetskih institucija u svetu koje su usvojile EMC kao koncept razvoja svojih upravljačkih sistema čime im je omogućeno istraživanje i razvoj upravljanja novim mašinama sa vrlo složenom kinematikom. Kada se kaže mašina, podrazumevaju se i mašine alatke i industrijski roboti, kojima se razvija novo upravljanje za novu namenu. Naime, primena EMC je u uslovima minimalnih ulaganja, odlično rešenje za revitalizaciju postojećih mašina i obradnih sistema, koji su sa zastarelim upravljanjem, ili potpuno bez upravljanja.

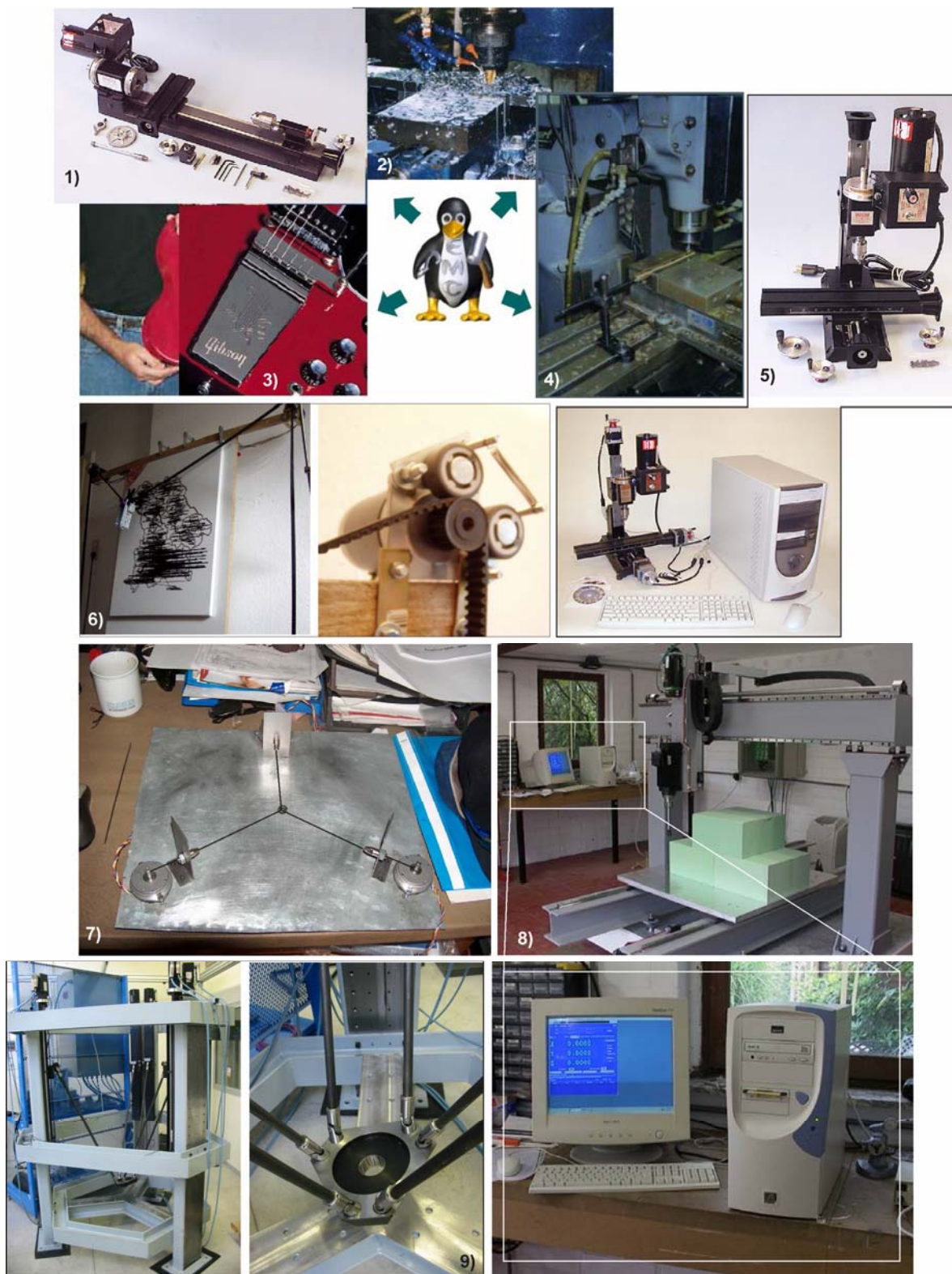
2. STANJE ISTRAŽIVANJA I PRIMENE EMC U SVETU

Trenutno aktuelna verzija EMC2 našla je široku primenu. To je softver otvorene arhitekture koji je u funkciji više godina. EMC2 je svoju primenu našao, kako u upravljanju komercijalnim mašinama proizvedenim u serijskoj proizvodnji i u rekonstruisanim starim mašinama, tako i u upravljanju raznim konceptualnim i prototipskim kinematičkim sistemima, kao što su mašine alatke sa paralelnom kinematikom i multifunkcionalni rekonfigurabilni višeosni obradni sistemi. Anкета o zastupljenosti EMC sistemskog softvera sa sajta [1], na različitim tipovima mašina pokazana je na slici 2. Očigledno najveću zastupljenost imaju takozvane stone mini mašine alatke, čak ukupno 827 realizacija. Zatim sledi široki krug korisnika koji za sada koriste samo softver. Slede primene na velikim mašinama tipa portalnih glodalica, strugova, mašina za sečenje plazmom ili laserom, glodalica, erozimata, ali i robota i mašina sa paralelnom kinematikom. Istraživanja u oblasti upravljanja robotima i mašinama sa paralelnom kinematikom, su posebno interesantna, jer nemaju trivijalnu kinematiku, kao kod serijskih mašina alatki, već zahtevaju implementaciju inverznog kinematičkog problema u softver za upravljanje.



Slika 2. Tipovi mašina koje se upravljaju primenom EMC sistemskog softvera u svetu

Na slici 3, su pokazane neke od mašina koje se upravljaju primenom EMC sistemskog softvera u svetu. Tako su na slici 3.1) i 3.5) primeri stonih mašina alatki i to mini struga i mini glodalice, koje su vrlo pogodne za malu privredu i kao edukacione mašine alatke u sklopu obrazovnih i naučno-istraživačkih institucija. Na slici 3.2) i 3.4) su detalji revitalizovanih vertikalnih glodalica, a na slici 3.3) je prikazan detalj graviranja na muzičkom instrumentu, kao što je gitara. Primeri novih mašina sa paralelnom kinematikom, koje nemaju trivijalnu kinematiku su bipod, tripod i heksagljajd i na njima se uočava da je EMC sistem otvorene arhitekture, jer omogućava ugradnju inverzne i direktne kinematike u upravljanje. Kinematički sistem nazvan *Koppi's Toy* (Kopijeva igračka) po imenu autora koji ga je osmislio, predstavlja jednostavno rešenje bipoda. Na slici 3.6) sa leve strane, je prikazan crtež mape Bavarske koju je bipod iscrtao primenom upravljanja na bazi EMC2, a sa desne strane je prikazan detalj koračnog motora sa prenosnikom.



1-mini strug, 2,3,4-revitalizacija konvencionalnih mašina, 5-mini glodalica, 6-bipod, 7-tripod, 8-portalna glodalica, 9- hexaglajd,

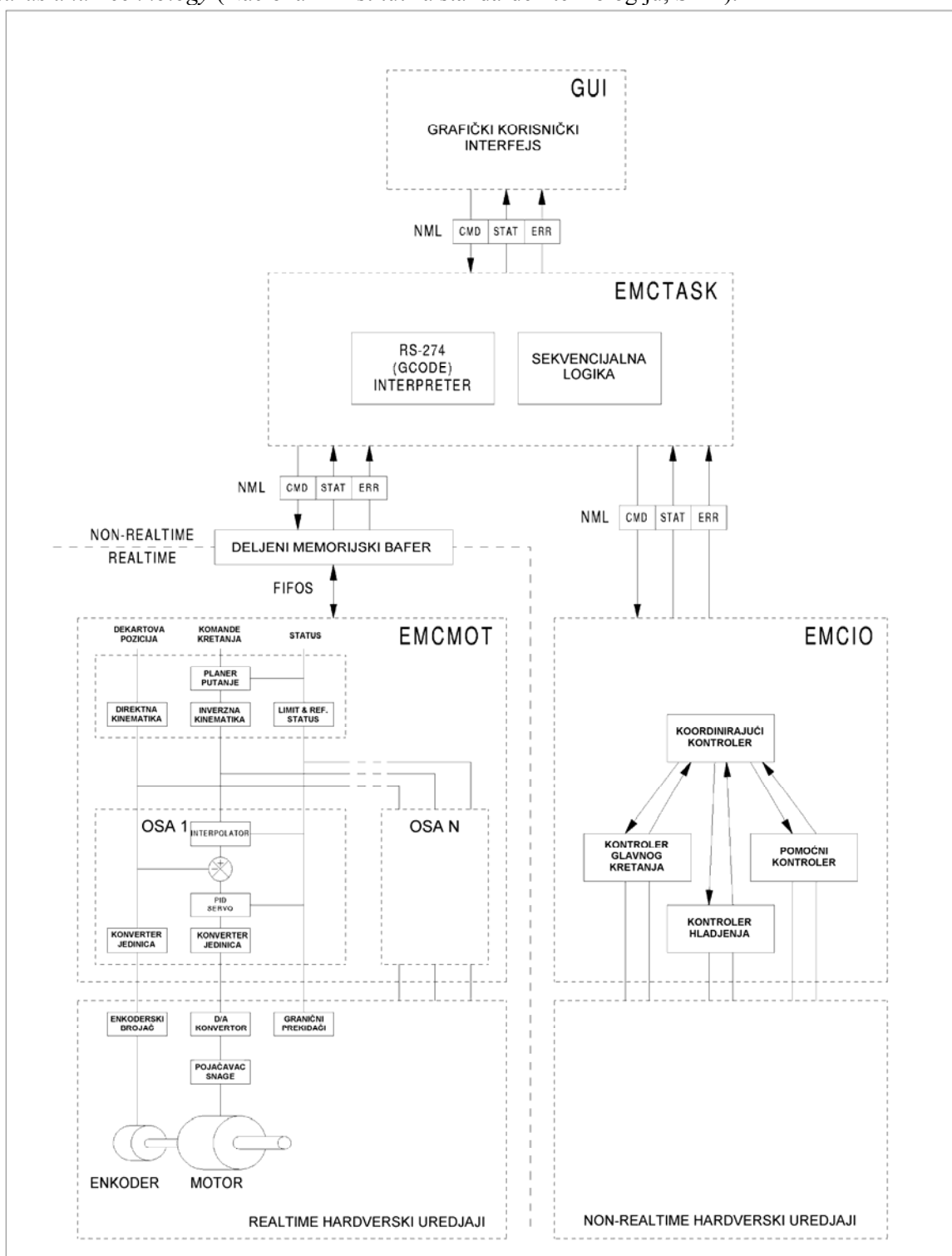
Slika 3. Realizacije mašina u svetu upravljanih primenom EMC konceptana PC Linux platformi

Na slici 3.7) je prikazan funkcionalni žičani model 3-osne paralelne mašine poznatije kao tripod. Njen autor, Alex Joni, iskoristio 3 koračna motora iz starih matičnih štampača kao pogone mašine, a za upravljanje je koristio takođe EMC2 na PC Linux platformi. Na Univerzitetu Navara u Španiji, razvijen je heksaglajd prikazan na slici 3.9). Kao upravljačka jedinica iskorišćen je PC računar sa dve MOTENC-Lite interfejs kartice i EMC2 kao softverskim sistemom. U ovom slučaju je do punog izražaja došla modularnost EMC2 softvera, odnosno HAL (*Hardware Abstraction Layer*) komponenti koje omogućavaju jednostavnu integraciju funkcija inverzne i direktne kinematike u sistem za upravljanje, kao i uniformni interfejs za

povezivanje sa dodatnim hardverskim komponentama, u ovom slučaju MOTENC-LITE karticama. Ovaj složeni višeosni kinematički sistem u potpunosti prikazuje funkcionalnosti i performanse EMC2 sistema.

3. KONCEPT UPRAVLJANJA PRIMENOM EMC2

Šta je EMC2? *Enhanced Machine Controller* (Unapredjeni kontroler mašina alatki) je *real-time* softverski sistem za upravljanje mašinama alatkama, čiji se kod može slobodno koristiti, modifikovati i distribuirati (*GNU General Public License*). Predviđen je za rad na Linux/UNIX operativnom sistemu sa *real-time* ekstenzijom. EMC2 omogućava programiranje mašina standardizovanim G-kod instrukcijama. Osnovu softverskog paketa, koga danas koristimo i modifikujemo, razvio je NIST - *National Institute of Standards and Technology* (Nacionalni institut za standarde i tehnologiju, SAD).

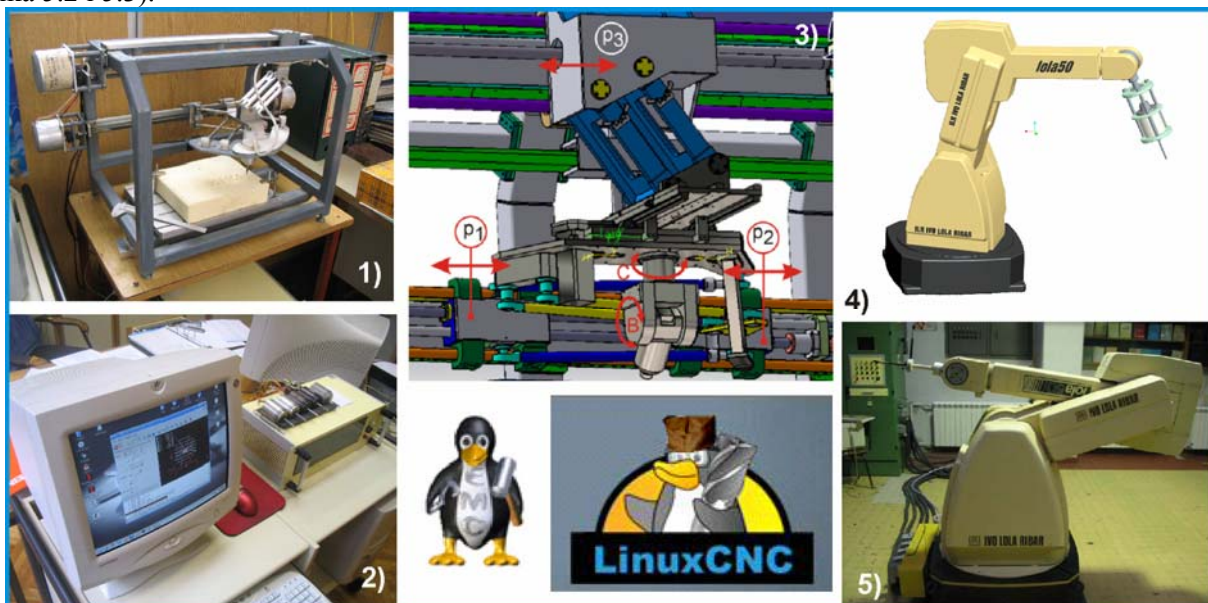


Slika 4. Interna softverska struktura EMC2

Prva verzija softvera, EMC1.0, našla je veliki broj korisnika u svetu, kako u komercijalnim, tako i u krugovima istraživača. Ova popularnost izrodila je nebrojeno puno verzija softvera i privukla isto toliko ljudi koji učestvuju u njegovom razvoju. EMC je od minimalističkog softverskog paketa za kontrolu rada mašina alatki izrastao u kompleksan softverski sistem sa svim osobinama koje poseduje jedan savremeni komercijalno raspoloživ CNC softver. Modularna struktura softverskog paketa doprinela je njegovoj fleksibilnosti, kako u primeni na mašinama sa raznolikom kinematikom, tako i u povezivanju sa različitim hardverskim i softverskim dodacima. Za ovo je prvenstveno zaslužan HAL (*Hardware Abstraction Layer*). HAL 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. Pored hardverskih tu je i mnoštvo softverskih komponenti koje će učiniti da EMC2 dobije zavidno dobar grafički korisnički interfejs. Na slici 4 prikaza na je interna softverska struktura EMC2.

4. PRIMENA EMC U DOMAĆIM ISTRAŽIVANJIMA

Istraživanja u oblasti upravljanja primenom EMC sistemskog softvera, su započeta u okviru projekta Troosne paralelne mašine, da bi se nastavila u narednom projektu Petoosne paralelne mašine. U toku su započeta istraživanja iz oblasti Multifunkcionalnih rekonfigurabilnih višeosnih obradnih sistema na bazi robota i Razvoja nove generacije vertikalnih petoosnih strugarskih obradnih centara. Tokom dva realizovana projekta razvijena su upravljanja primenom EMC1 sistemskog softvera za mini edukacionu troosnu mašinu sa paralelnom kinematikom pn101 (slika 5.1) i model petoosne hibridne paralelne mašine alatke pn101_5D (slika 5.2 i 5.3).



Slika 5. Primena EMC2 kod nas

4.1 Funkcionalni model pn101

Funkcionalni model mašine sa paralelnom kinematikom pn101, (slika 5.1) je iskorišćen za testiranje i verifikaciju upravljanja na bazi EMC softverskog sistema. Ovaj model je konfigurisan i realizovan uporedo sa gradnjom industrijskog prototipa troosne mašine sa paralelnom kinematikom LOLA pn101_4 V1. U početku je model korišćen samo za testiranje paralelnog mehanizma. Kasnije je dodat pogon na glavnom vretenu i na pogonskim osama pomoćnog kretanja. Pomoćno kretanje je osnaženo koračnim motorima i odgovarajućom drajverskom jedinicom kojom se upravlja posredstvom paralelnog porta.

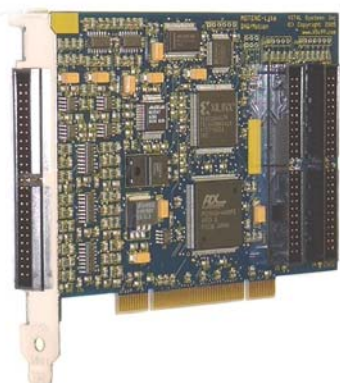
4.2 Petoosna paralelna mašina LOLA pn101_5D V2.

Petoosna paralelna hibridna mašina može da se programira samo u okruženju CAD/CAM sistema koji podržava petoosnu obradu. Sa licencama za neki od CAD/CAM sistema, koji podržavaju programiranje petoosnih mašina, moguće je takođe brzo formirati okruženje za programiranje i petoosnih paralelnih mašina. Sistemski softver EMC ima ugrađen interpreter G-koda, a svi dostupni CAD/CAM sistemi ne nude opcije u svojim konfiguratorima postprocesora za paralelne mašine. Zato se projektovana petoosna paralelna

hibridna mašina programira kao petoosna glodalica sa serijskom kinematikom (X,Y,Z,C,B). Tako formiran G-kod uvodi se u interpreter sistema za upravljanje petoosne paralelne mašine, a onda se aktiviraju rešenja inverzne i direktne kinematike, implementirana u sistemu za upravljanje. Sistem za upravljanje je ostvaren nadogradnjom sistema upravljanja funkcionalnog modela troosne mašine sa paralelnom kinematikom.

4.2 Multifunkcionalni višeosni obradni sistem na bazi robota LOLA 50

Kod nas se do sada višeosno upravljanje odnosilo samo na mašine sa trivijalnom kinematikom i robote. Da bi se standardno raspoložive upravljačke jedinice, CNC, iskoristile za upravljanje mašinama sa složenom kinematikom, neophodna bi bila dodatna intervencija proizvođača CNC-a na softveru i ne mala dodatna investicija. Posebne dozvole od strane države u kojoj se nalazi proizvođač upravljačke jedinice su priča koja prevazilazi okvire ovog rada. EMC2 nam je pružio mogućnost da prevaziđemo ove teškoće i sami konfiguriramo upravljačku jedinicu prema sopstvenim zahtevima. A zahtev je konfigurirati industrijski robot LOLA 50 u multifunkcionalni rekonfigurabilni višeosni obradni sistem, slika 5.4 i slika 5.5.

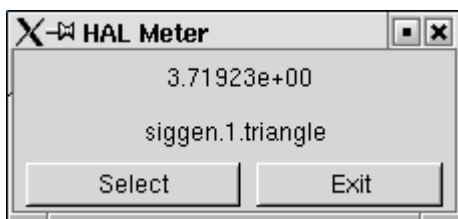


Slika 6. MOTENC-Lite kartica

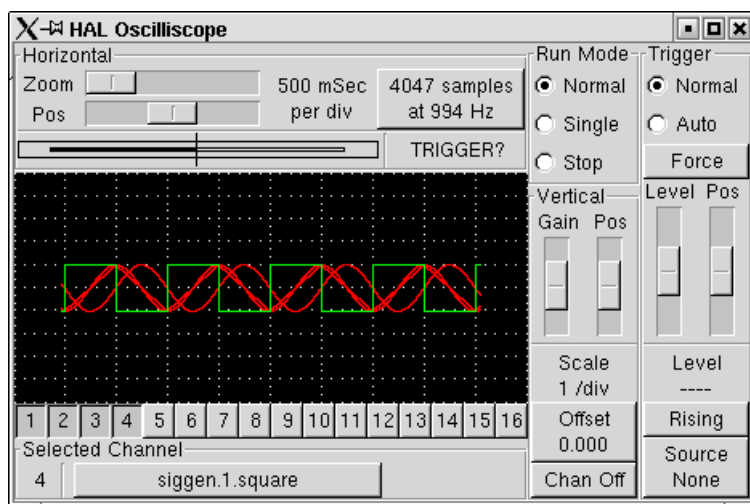
Kao polazna osnova za konfigurisanje robota kao mašine alatke, iskorišćen je EMC2 koji je prethodno već verifikovan na upravljanju funkcionalnim modelom pn101 kao troosne i, sa dodatkom serijske dvoosne glave, kao petoosne mašine. Za razliku od pn101, robot kao aktuator koristi INDRAMAT AC servo motore u sprezi sa INDRAMAT frekvencijskim regulatorima. Za vezu sa EMC2 nije nam dovoljan paralelni port. U tu svrhu nabavljene su dve PC računarske kartice MOTENC-Lite (Slika 6.). Svaka od kartica ima četiri analogna izlaza za vezu sa frekvencijskim regulatorima i četiri kvadraturna digitalna ulaza za vezu sa enkoderima. Tu je i mnoštvo digitalnih ulaza i izlaza za vezu sa senzorima i prekidačima sa robota. Ovo je više nego dovoljno za upravljanje pogonima šest osa pomoćnog kretanja i pogonom vretena glavnog kretanja. Ovim konačna konfiguracija mašine nije zatvorena, jer dodatkom više MOTENC-Lite kartica, povećava se mogućnost upravljanja na još više osa, shodno

kapacitetima dodatih kartica. Ovo nam omogućava da pored raspoloživih 6 osa robota i ose glavnog vretena, možemo da upravljamo i planiranim integrisanim dodatnim translatorskim i obrtnim osama radnog stola.

Da bi jedna mašina alatka besprekorno funkcionisala, potrebno je adekvatno podesiti parametre upravljačke jedinice. EMC2 nudi niz softverskih alata za podešavanje parametara sistema. *Halmeter* je softverska komponenta, jedan od modula HAL-a, koja ima ulogu digitalnog mernog instrumenta. *Halmeter* omogućava praćenje jedne ili više izabраниh vrednosti u sistemu. Na slici 7. je dat prikaz merenja vrednosti virtuelnog pina signalnog generatora koji generiše testerastu povorku impulsa. Za prikaz signala složenijih oblika u EMC2, zadužen je *Halscope* (slika 8). *Halscope* je multikanalni softverski osciloskop. Izuzetno je koristan prilikom podešavanja PID parametara pozicione servo petlje.

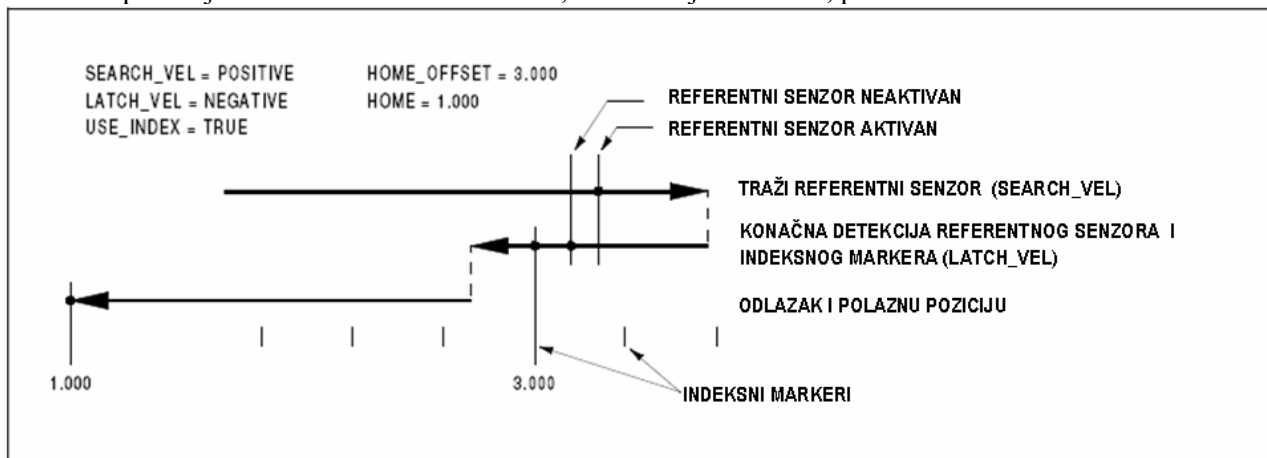


Slika 7. Halmeter



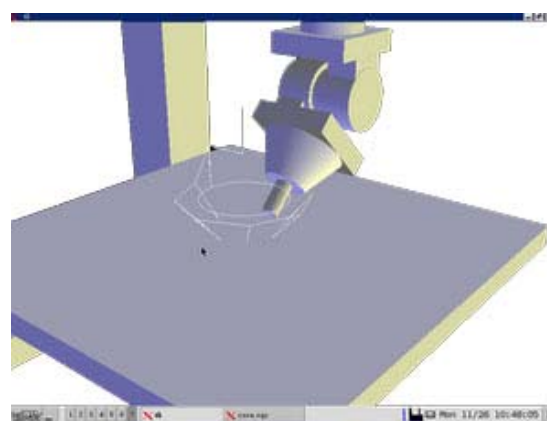
Slika 8. Halscope

Inicijalizacija, određivanje jedinstvene pozicije mašine, je jedan od problema koji se nameće prilikom konfigurisanja upravljanja. Moćni interfejs koji nudi HAL u ovu svrhu, čini rešenje problema inicijalizacije mašine trivijalnim. Ponudjene su četiri sekvence inicijalizacije. Odgovarajuća sekvenca se bira prema konfiguraciji mašine. Pošto robot LOLA 50 ima optičke merne sisteme, enkodere, sa indeksnim markerom, i svaka osa poseduje referentni induktivni senzor, odabrana je sekvenca, prikazana na slici 9.



Slika 9. Sekvence inicijalizacije

Za upravljanje mašinama sa netrivialnom kinematikom, neophodno je izgraditi komponentu koja sadrži funkcije inverzne i direktne kinematike i integrisati je u HAL. Da bi se ovo učinilo, potrebno je napisati odgovarajuće funkcije u C programskom jeziku, prevesti i povezati datoteke sa odgovarajućim HAL-ovim komponentama. Sa pripadajućim *.ini i *.hal datotekama ovo čini jednu softversku konfiguraciju mašine. Jedna mašina može imati više konfiguracija, pa tako LOLA 50 može raditi kao robot, horizontalna ili vertikalna glodalica, odnosno obradni centar. Svaka konfiguracija ima svoju identifikaciju. Prilikom podizanja EMC2 izabere se željena radna konfiguracija ili režim simulacije. U režimu simulacije je moguće definisati virtuelnu mašinu, tj. napraviti model konkretne mašine poput onog koji se može napraviti nekom od CAD/CAM softverskih paketa. Na taj način pored *real-time* simulacije kretanja vrha alata i prikaza trajektorije, može se dobiti i *real-time* virtuelna simulacija kinematike cele konfiguracije mašine, slika 10.



Slika 10. Virtuelna simulacija petoosne obrade [6]

5. ZAKLJUČAK

Osnovni ciljevi predstavljenih istraživanja se mogu sumirati na razvoj koncepta CNC upravljanja za mašine alatke specifične konfiguracije. Ovo su mašine koje za razliku od konvencionalnih mašina, nemaju trivijalnu kinematiku. Tu možemo ubrojiti, mašine sa paralelnom kinematikom, hibridne paralelno-serijske mašine, višeosne obradne sisteme, robote itd.

U Srbiji postoji puno mašina, koje su ili bez ili sa zastarelim upravljanjem. Njihova revitalizacija sa komercijalnim upravljanjima (SIEMENS, FANUC, HAIDENHAIN,...) bi višestruko prevazišla njihovu trenutnu tržišnu cenu. Koncept upravljanja na bazi EMC bi trebalo da unapredi mala i srednja preduzeća kroz revitalizaciju postojećih mašina alatki i robota, uz minimalna ulaganja, što je bio i povod NIST-u za razvoj EMC-a.

Jedna klasa novih mašina alatki i robota su multifunkcionalni rekonfigurabilni višeosni obradni sistemi. Domaća industrija imala je veliko iskustvo u projektovanju i izradi mašina alatki. Plan je bio da se istraži mogućnost inoviranja proizvodnih programa te industrije, kao i revitalizacija upravljanja na

postojećim mašinama alatkama i robotima. Time su ostvareni rezultati u okviru dosadašnjih projekata i otvorena vrata za nova istraživanja u domenu upravljanja mašina alatki i robota na PC platformi. Na taj način je stvorena osnova za jedno inoviranje proizvodnog programa mašina alatki.

Dosadašnja iskustva i ostvareni rezultati na funkcionalnom modelu mašine sa paralelnom kinematikom i hibridne petoosne paralelne mašine, su dobra osnova za nastavak istraživanja u domenu multifunkcionalnih rekonfigurabilnih višeosnih obradnih sistema.

6. LITERATURA

- [1] EMC - Enhanced Machine controller web site - www.linuxcnc.org
- [2] NIST - National Institute of Standards and Technology web site - www.nist.gov
- [3] Živanović, S., Dimić, Z., Upravljanje modela troosne mašine sa paralelnom kinematikom pn 101 na bazi EMC sistemskog softvera, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-592-4, str.3.19-3.24, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, maj 2007.
- [4] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Dimić, Z., Konfiguracija jedne hibridne petoosne mašine, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, ISBN 978-86-7083-592-4, str.3.19-3.6, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, maj 2007.
- [5] Kvrđić, V., Razvoj inteligentnog sistema za upravljanje i programiranje industrijskih robota, doktorska disertacija, mašinski fakultet, Beograd, 1998.
- [6] AXIS: A User Interface for EMC2, 5-axis machining with EMC, <http://axis.unpythonic.net/>, 2008.
- [7] Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Mašine sa paralelnom kinematikom, VIII.Međunarodni naučno-stručni skup o dostignućima elektrotehnike, mašinstva informatike DEMI 2007, Zbornik radova, str.3-14, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, maj, 2007.
- [8] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Petoosne paralelne mašine, Završni izveštaj, Mašinski fakultet Beograd, 2008.

Z. Dimić, S. Živanović, V. Kvrđić

EMC SOFTWARE BASED CNC DEVELOPMENT CONCEPT FOR MACHINE TOOLS WITH SPECIFIC CONFIGURATION

Summary

The key issue in R&D in research instituties and leading indistries of developed countries is the development of CNC control systems based on open source softwares. This research lead is up todate world wide, as well as in our country. This paper presents wordwide research, results obtained on our machines as well as directions for futur research in this area.

Key words: control, machine tool, parallel kinematic machine, robot