



Dimić, Z., Milutinović, D., Živanović, S., Mitrović, S.¹⁾

METOD KONFIGURISANJA UPRAVLJAČKOG SISTEMA OTVORENE ARHITEKTURE REKONFIGURABILNOG ROBOTA ZA OBRADU²⁾

Rezime

U radu je prikazan jedan metod konfigurisanja/rekonfigurisanja upravljačkog sistema otvorene arhitekture rekonfigurabilnih robota za obradu. Na primeru EMC2 upravljačkog softvera otvorene arhitekture su posredstvom dijagrama za modelovanje dinamičkih procesa definisane aktivnosti sistem-integratora/korisnika u procesu konfigurisanja/rekonfigurisanja upravljačkog sistema, i uspostavljene su relacije između softverskih i hardverskih komponenta upravljanja.

Ključne reči: upravljački sistem, rekonfigurabilnost, otvorena arhitektura, robot za obradu

1. UVOD

Ideja da se postojeći CAD/CAM sistemi koriste za programiranje robota u G-kôdu za višeosnu obradu rezanjem, navodi na razvoj upravljačkog sistema koji treba korisniku da omogući emulaciju različitih 5-osnih mašina alatki robotima vertikalne zglobne konfiguracije. S obzirom na činjenicu da upravljački sistem svojom rekonfigurabilnošću treba da pokrije više konfiguracija robotskih ćelija za obradu, ali i da omogući integratorima sistema da sami kreiraju nove konfiguracije, odgovarajući softverski upravljački moduli, kao što su kinematički, moduli interfejsa i sl., moraju biti dostupni za modifikaciju i/ili proširenje. Uz činjenicu da mogućnost konfigurisanja i rekonfigurisanja upravljanja zavisi od otvorenosti, modularnosti i skalabilnosti upravljačke arhitekture [1], u ovom radu je data metoda konfigurisanja/rekonfigurisanja softverski orijentisanog upravljačkog sistema robota, realizovanog na bazi sistema otvorene arhitekture.

2. KONCEPT RAZVOJA REKONFIGURABILNOG UPRAVLJAČKOG SISTEMA

Realizacija upravljačkog sistema robotskih ćelija za obradu se u predmetnom radu zasniva na primeni gotovih hardverskih i softverskih rešenja otvorene arhitekture. Otvorenost arhitekture je sve prisutnija u oblasti upravljanja robotima i mašinama alatkama. Na sličan način na koji je uticala na revolucionaran rast industrije personalnih računara (PC), otvorenost utiče na razvoj i širenje primene industrijskih robota. Prema IEEE 1003.0 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) [2] modelu, otvoreni sistem je definisan kao sistem koji omogućava da se aplikacije implementirane na odgovarajući način mogu izvršavati na platformama različitih proizvođača, komunicirati sa drugim sistemskim aplikacijama i omogućiti konzistentni način interakcije sa korisnikom.

Prema usvojenom konceptu u ovom radu, razvoj rekonfigurabilnog upravljačkog sistema se zasniva na:

- Jednom od postojećih upravljačkih softverskih sistema otvorene arhitekture, EMC2 (Enhanced Machine Controller verzija 2), KCAM, TurboCNC, Mach3, DeskCNC, CNCZeus, DesKAM, CNCPro ili sl., koji se integriše u upravljački sistem bez izmena izvornog kôda;
- Mogućnosti implementacije sopstvenih kinematičkih modula, koja proističe iz otvorenosti arhitekture upravljačkog softvera;

¹⁾ Zoran Dimić, dipl. inž. el., Lola institut d.o.o., Beograd, (zoran.dimic@li.rs), prof. dr Dragan Milutinović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (dmilutinovic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Saša Živanović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (szivanovic@mas.bg.ac.rs), Stefan Mitrović, mast. inž. maš., Lola institut d.o.o., Beograd, (stefan.mitrovic@li.rs)

²⁾ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja se sprovode na projektima: TR_35023: Razvoj uređaja za trening pilota i dinamičku simulaciju leta modernih borbenih aviona i to 3-osne centrifuge i 4-osnog uređaja za prostornu dezorijentaciju pilota i TR35022: Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema, koji finansijski podržava Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja

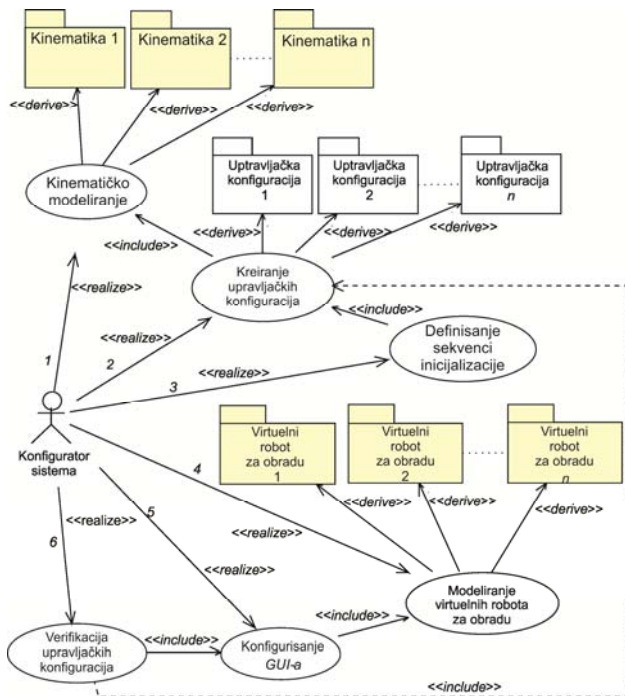
- Mogućnosti konfigurisanja virtuelnih emuliranih mašina alatki, odnosno robota posredstvom odgovarajućih grafičkih biblioteka;
- Postojanju konfiguracionog interfejsa koji omogućava rekonfigurisanje sistema;
- Operativnom sistemu otvorene arhitekture za rad u realnom vremenu;
- Računarskoj hardverskoj platformi otvorene arhitekture.

Osnovna prednost primene gotovih softverskih i hardverskih rešenja u realizaciji upravljačkog sistema robota za obradu se ogleda u mogućnosti precizne predikcije performansi i vremena realizacije upravljanja u ranim fazama razvoja.

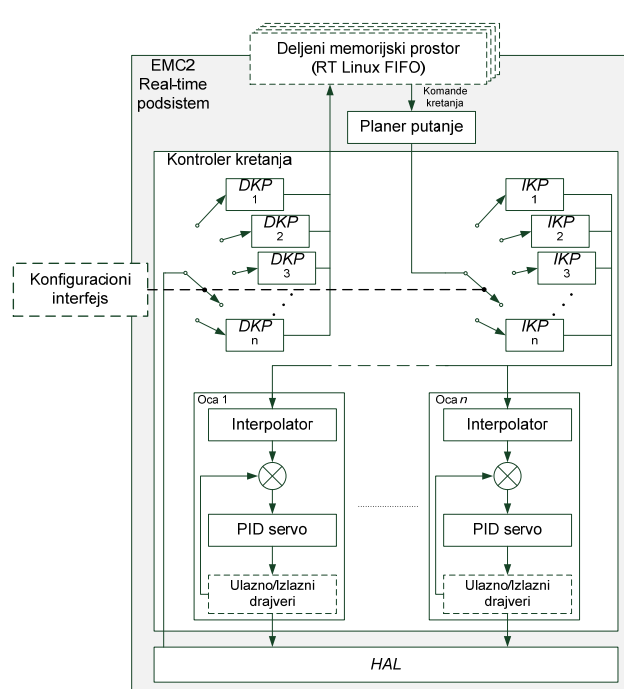
3. PRIKAZ MORFOLOŠKOG METODA ZA KONFIGURISANJE I REKONFIGURISANJE UPRAVLJAČKOG SISTEMA NA BAZI EMC2

Deo aktivnosti Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju SAD-a, poznatijeg kao NIST (*National Institute of Standards and Technology*), usmeren je na razvoj mernih metoda i standarda za inteligentne upravljačke sisteme u proizvodnji. Kao rezultat dugogodišnjeg istraživanja u ovoj oblasti, NIST je promovisao RCS (*Real-Time Control System*) softversku biblioteku [3], koja danas predstavlja standardnu, referentnu osnovu za razvoj inteligentnih upravljačkih sistema. RCS biblioteka je evoluirala tokom godina i rezultirala razvojem brojnih upravljačkih aplikacija, uključujući i EMC2 [4], real-time upravljački softver otvorene arhitekture, koji se može iskoristiti za upravljanje najrazličitijih mašina alatki i robota. Obiman rad i iskustvo koji su godinama ulagani u RCS i EMC, u svetskim razmerama predstavljaju dobru tehnološku osnovu za implementaciju sopstvenog sistema upravljanja i programiranja mašina alatki i robota.

Da bi upravljački sistem na bazi EMC2 mogao biti konfigurisan za upravljanje različitim konfiguracijama obradnih ćelija na bazi robota vertikalne zglobne konfiguracije, mora se formirati konačan broj kinematičkih modela, odnosno softverskih modula. Rekonfigurabilni upravljački sistem mora uključiti sve softverske komponente i kinematičke konfiguracije potrebne za upravljanje odabranim konfiguracijama obradne ćelije na bazi robota. Procedura inicijalnog konfigurisanja rekonfigurabilnog sistema upravljanja na bazi EMC2 softvera se obavlja prema uspostavljenoj metodologiji prikazanoj primenom UML (*Unified Modeling Language* [5]) dijagrama na slici 1.



Slika 1. UML dijagram inicijalnog konfigurisanja upravljačkog sistema na bazi EMC2



Slika 2. Simbolički prikaz načina rekonfigurisanja

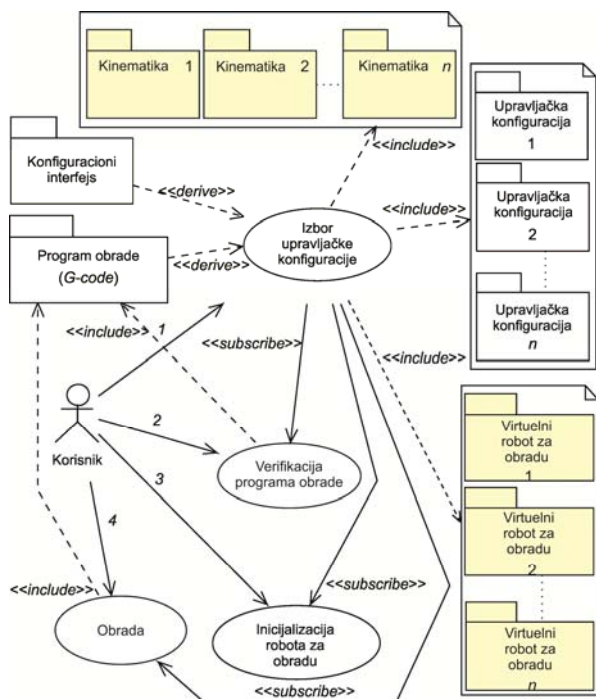
Prema postavljenom metodu za inicijalno konfigurisanje upravljačkog sistema rekonfigurabilnih ćelija na bazi robota, integrator sistema postavlja skup izabranih konfiguracija za koje treba da izvrši sledeće aktivnosti:

- Rešavanje direktne i inverzne kinematike za odabrane konfiguracije robota za obradu;

- Kreiranje odgovarajućeg broja kinematičkih softverskih modula za odabrane konfiguracije robota za obradu na osnovu prethodno dobijenih rešenja inverznog i direktnog kinematičkog problema;
- Implementaciju konfiguracionih datoteka sa relevantnim parametrima za svaku kinematičku konfiguraciju;
- Definisane inicijalizacione sekvence za svaku konfiguraciju obradne ćelije na bazi robota;
- Konfigurisanje virtuelnih robotskih ćelija za odabrane konfiguracije obradne ćelije na bazi robota;
- Konfigurisanje grafičkog korisničkog interfejsa (GUI) u skladu sa specifičnostima obrade robotom i zahtevima korisnika (definisane grafičkih elemenata za praćenje pozicija osa robota, pokretanje i praćenje procesa inicijalizacije, kontrolu brzine pomoćnog kretanja itd.);
- Testiranje odabranih konfiguracija obradne ćelije na bazi robota posebno izrađenim test programima obrade, najpre u prethodno konfigurisanim virtuelnim okruženjima, a posle verifikacijom i na realnim konfiguracijama.

Rekonfigurabilnost upravljačkog sistema na bazi EMC2 se zasniva na uspostavljanju odgovarajućih veza između definisanih softverskih modula posredstvom aplikativnih interfejsa koje obezbeđuje HAL (*Hardware Abstraction Layer* [6]). Prema instrukcijama sadržanim u konfiguracionim datotekama, vrši se povezivanje odgovarajućih kinematičkih modula sa modulima za planiranje i upravljanje kretanja, slika 2.

Procedura za rekonfigurisanje sistema upravljanja razvijenog na bazi EMC2 softvera obavlja se prema uspostavljenoj metodologiji prikazanoj primenom UML dijagrama na slici 3.



Slika 3. UML dijagram rekonfigurisanja upravljačkog sistema na bazi EMC2

Pod pretpostavkom da su kinematičke konfiguracije definisane i da je sistem inicijalno konfigurisan, rekonfigurisanje upravljačkog sistema podrazumeva obavljanje sledećih aktivnosti prema uspostavljenoj metodologiji:

- Izbor odgovarajućeg kinematičkog modula, konfiguracione datoteke i konfiguracije virtuelne obradne ćelije na bazi robota, posredstvom konfiguracionog interfejsa upravljačkog sistema, za potrebe verifikacije konfigurisanog sistema i programa obrade;
- Verifikaciju programa obrade na odgovarajućoj konfiguraciji virtuelne obradne ćelije uz simulaciju putanje alata i praćenje kretanja segmenata robota radi uočavanja eventualnih kolizija;
- Inicijalizacija obradne ćelije na bazi robota u skladu sa odabranom kinematičkom konfiguracijom;
- Obrada radnog predmeta prema prethodno verifikovanom programu obrade, G-kôdu.

4. REALIZACIJA PROTOTIPA UPRAVLJAČKOG SISTEMA NA BAZI EMC2 SOFTVERA

Za potrebe inicijalnog konfigurisanja upravljačkog sistema na bazi EMC2 softvera na raspolaganju je bio robot vertikalne zglobne konfiguracije Lola 50 sa 6 stepeni slobode, slika 4. Upravljački sistem robota Lola 50 je bio zasnovan na robot kontroleru predviđenom za programiranje obučavanjem i upravljanje PTP (eng. *Point-To-Point*) kretanjima. Primenom uspostavljene metodologije inicijalnog konfigurisanja upravljačkog sistema na bazi gotovih hardverskih i softverskih sistema otvorene arhitekture, realizovan je upravljački sistem korišćenjem EMC2 softvera, Linux operativnog sistema sa real-time jezgrom, PC hardvera i interfejs kartica za ulazno/izlazne operacije. Robot kontroler je zamenjen novom upravljačkom jedinicom koja je povezana sa postojećim električnim sistemima i analognim pogonima servo motora, slika 4. PCI (*Peripheral Component Interconnect*) interfejs ka matičnoj ploči PC računara je bio jedan od glavnih kriterijuma za izbor MOTENC Lite interfejsa za ulazno/izlazne operacije, odnosno za spregu sa senzorima i pogonima motora. Dve ovakve kartice, koje su pridodate osnovnoj računarskoj platformi, imaju ukupno osam analognih izlaza za vezu sa frekvencijskim regulatorima i osam kvadraturnih digitalnih ulaza za vezu sa optičkim mernim

sistemima (inkrementalnim enkoderima u ovom slučaju). Tokom eksperimentalne provere, robot je konfigurisan primenom opisane metodologije. Generisane su konfiguracione datoteke i izabrana je odgovarajuća konfiguracija robota. Po izvršenju inicijalizacije, robot za obradu je bio spreman za izvršavanje programa obrade pripremljenog za 5-osnu mašinu alatku čija je kinematička konfiguracija emulirana.



Slika 4. Elementarna obradna ćelija na bazi robota Lola 50 sa realizovanim upravljačkim sistemom primenom softvera EMC2

5. ZAKLJUČAK

Sa ciljem da se robotu za obradu omogući promena konfiguracije, a samim tim poveća fleksibilnost tokom obrade, u radu je predložen metod inicijalnog konfigurisanja upravljačkog sistema robota za obradu, kao i metod rekonfigurisanja kojim se omogućava emulacija različitih višeosnih mašina alatki. Primenom softverskih alata za modelovanje dinamičkih procesa, na transparentan način su prikazani postupci sistem integratora, odnosno korisnika, koje je neophodno učiniti tokom konfigurisanja, odnosno rekonfigurisanja upravljačkog sistema robota za obradu.

6. LITERATURA

- [1] Z. M. Bi & Sherman Y. T. Lang & M. Verner & P. Orban: *Development of reconfigurable machines*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 39:1227–1251, 2008.
- [2] IEEE 1003.0: *IEEE GUIDE TO THE POSIX OPEN SYSTEM ENVIRONMENT (OSE)*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1995.
- [3] *RCS - Real-Time Control System Library*, URL: <http://www.isd.mel.nist.gov/projects/rcslib>, april 2016.
- [4] *LinuxCNC*, URL: <http://linuxcnc.org>, april 2016.
- [5] *UML® - Unified Modeling Language™*, URL: <http://www.omg.org/spec/UML>, april 2016.
- [6] *HAL - Hardware Abstraction Layer*, URL: <http://linuxcnc.org/docs/html/hal/intro.html>, april 2016.

Dimić, Z., Milutinović, D., Živanović, S., Mitrović, S.

A METHOD FOR CONFIGURATION OF AN OPEN-ARCHITECTURE CONTROL SYSTEM OF A RECONFIGURABLE MACHINING ROBOT

Abstract: *A method for configuration/reconfiguration of an open-architecture control system of a reconfigurable machining robot is given. By utilizing dynamic process modelling diagrams, activities of systems integrator/user regarding control system configuration/reconfiguration shall be presented by the example of open-architecture control software, altogether with established relations between hardware and software components of a given control system.*

Key words: *control system, reconfigurability, open architecture, machining robot*