

Vukobratović M., Karan B.,
Kirćanski M., Kirćanski N.

KONCEPT MULTIPROCESORSKOG UPRAVLJAČKOG SISTEMA ROBOTA

CONCEPT OF A MULTIPROCESSOR ROBOT CONTROLLER

SADRŽAJ: - U radu je prikazan koncept novog upravljačkog sistema razvijenog u Institutu "Mihailo Pupin" namenjen manipulacionim robotima opšte namene. Upravljački sistem sastoji se iz 3 procesora u paralelnom radu. Prvi procesor namenjen je za komunikaciju sa korisnikom i sinhronizaciju rada sistema sa okolinom (komunikacioni procesor), drugi (kinematički procesor) prevodi spoljašnje koordinate u unutrašnje, a treći (dinamički procesor) obezbeđuje praćenje zadatih trajektorija. Procesorske ploče su realizovane na bazi mikroprocesora Intel 8086 i koprocesora 8087 sa taktom od 8 MHz.

ABSTRACT: - This paper presents the concept of a new robot controller developed in "Mihailo Pupin" Institute. The controller consists of 3 parallel processor units. The first one is devoted to communication with a user and a synchronization of the system operation with its environment (communication processor). The second (kinematic processor) transforms world coordinates into joint angles, and the third (dynamic processor) enables quality tracking of imposed trajectories. The processor boards are realized by Intel 8086 microprocessor and 8087 coprocessor at 8 MHz clock.

1. UVOD

Sistemi koji se koriste za upravljanje složenim mehanizmima sa više stepeni slobode, kao što su manipulatori, letilice, pokretno robotizovano vozilo i drugi, razrešavaju po pravilu nekoliko osnovnih zadataka. Prvo, zadatak komunikacije sa operatorom koji u odredjenim, jednostavnijim, slučajevima ne mora da se vrši u toku kretanja sistema (off-line), a u odredjenim aplikacijama, kao što je to slučaj u robotici, neophodna je komunikacija tipa on-line. Ovde posebno interesantno područje predstavljaju robotski jezici, koji se danas intenzivno razvijaju [1,2]. Robotski kontroler, takodje, treba da obezbedi spregu sa komandnim pultom i obradu spoljašnjih signala.

Pomenuti zadaci ne zavise od kinematičke strukture robota, tipa aktuatora i detalja mehaničke konstrukcije, pa se oni mogu realizovati generalno. Medjutim, upravljački sistem robota uključuje i dva modula koja upravljaju kretanjem mehanizma konkretnog robota: kinematički i dinamički modul. Kreiranje programa kinematičkog i dinamičkog modula se vrši pomoću softverskih razvojnih sistema u kojima se vrši automatska optimizacija izlaznog koda [3,4].

Upravljački sistem je implementiran na sistemu sa 3 procesorska modula na bazi procesora Intel 8086 i koprocesora 8087 u paralelnom radu.

2. ORGANIZACIJA SISTEMA

Programska podrška upravljakog sistema ima čvrstu hijerarhijsku strukturu i konceptualno se sastoji iz tri sloja: komandni nivo, osnovni nivo i jezgro sistema.

Komandni nivo ima zadatak da ostvari spregu između osnovnog nivoa i korisnika sistema i sačinjavaju ga moduli koji omogućuju manuelno navodjenje manipulatora, izvršavanje robotskih komandi, kreiranje robotskih programa unošenjem pojedinih komandi, testiranje, izvršavanje i arhiviranje robotskih programa. Komande koje se prepoznaju na ovom nivou mogu se podeliti u dve osnovne grupe: komande za rad s lokalnim podacima (izračunavanje geometrijskih transformacija, komande za promenu sekvencijalnog toka izvršavanja robotskog programa itd.) i komande koje upravljaju radom modula osnovnog nivoa sistema (komande koje uključuju očitavanje/ispisivanje podataka na komandnom pultu, komande koje uključuju pristup spoljašnjim signalima i manipulatorske komande).

Osnovni nivo sačinjavaju modul za spregu sa komandnim pultom, modul za obradu spoljašnjih signala i modul za upravljanje manipulatorom.

Modul za spregu sa komandnim pultom ima za cilj da modulima komandnog nivoa omogući pristup terminalu operatora i/ili upravljačkom pultu. Procedure ovog modula vrše učitavanje i osnovnu obradu signala upućenih sa tastature terminala i pulta, kao i ispisivanje poruka na ekranu terminala i formiranje dijagnostičkih signala na pultu.

Modul za obradu spoljašnjih signala ostvaruje praćenje ulaznih i kreiranje izlaznih digitalnih i analognih signala, čime se omogućuje upravljanje manipulatorom i sinhronizacija rada manipulatora sa okolinom.

Modul za upravljanje manipulatorom predstavlja centralni deo sistema i u njemu se izdvajaju tri podmodula: modul za spregu sa komandnim nivoom, kinematički

modul i dinamički servosistem.

Sve komande za upravljanje manipulatorom upućuju se sa komandnog nivoa modulu za spregu koji ima zadatak da kompletira nepotpuno specificirane komande, ispita ostvarljivost i dopustivost zadatih pokreta i da kreira deskriptore segmenata trajektorije manipulatora. Pripremna obrada manipulatorskih komandi na komandnom nivou može da varira u veoma širokim granicama i da uključi potrebu za vršenjem obimnih prostornih transformacija u cilju određivanja željenog položaja manipulatora.

U nekim slučajevima vreme potrebno za ovu pripremnu obradu može da bude znatno duže od vremena trajanja pokreta na jednom segmentu trajektorije. Da bi se osigurao kontinualan rad manipulatora (tj. rad bez zaustavljanja u prolaznim tačkama), tokom izvršavanja robotskog programa deskriptori segmenata trajektorije smeštaju se u pomoćni bufer do momenta kada ih prihvati kinematički modul. Upravljanje ovim buferom kao i sinhronizaciju rada manipulatora i komandnog nivoa takodje vrši modul za spregu.

Kinematički modul prihvata deskriptore segmenata trajektorije kao i druge specijalne komande (na primer, komanda za bezuslovno zaustavljanje kretanja) od modula za spregu i vrši transformaciju Dekartovih (spoljašnjih) koordinata u koordinate zglobova manipulatora (unutrašnje koordinate), dok dinamički servo sistem obezbeđuje praćenje izračunatih unutrašnjih koordinata. Ova dva modula su numerički najkompleksnije komponente sistema i njihov detaljniji opis dat je u odeljcima 4. i 5.

Jezgro sistema ima zadatak da obezbedi raspodelu procesorskog vremena izmedju komandnog i osnovnog nivoa i da obezbedi osnovne sinhronizacione primitive za komunikaciju izmedju pojedinih modula sistema. U realizaciji ovog upravljačkog sistema jezgro je formirano selekcijom potrebnih funkcija operativnog sistema iRMX 86*) što se pokazalo kao sasvim prihvatljivo rešenje.

3. MIKROPROCESORSKA IMPLEMENTACIJA

Obzirom na veliku količinu i trajanje operacija koje je potrebno izvršiti u kinematičkom modulu i modulu za praćenje trajektorije, ovi moduli izdvojeni su u zasebne mikroprocesore čijim radom upravlja osnovni, tzv. komunikacioni procesor.

Komunikacioni procesor ostvaruje sve funkcije komandnog nivoa sistema, kao i obradu spoljašnjih signala, spregu sa komandnim pultom i spregu sa kinematičkim procesorom.

* iRMX je zaštićeni znak Intel Corporation

Kinematički procesor razrešava problem prevodjenja spoljašnjih koordinata u unutrašnje. Prevodjenje se vrši u realnom vremenu sa periodom od 40 ms. Zbog izuzetne numeričke opterećenosti, ovaj modul je realizovan na zasebnom procesorskom modulu koji pored 8086/8087 procesora sadrži i lokalnu RAM i PROM memoriju.

Dinamički modul obuhvata digitalne servoregulatorne sa feed-forward kompenzacijom i PID reguleatore sa promenljivim pojačanjima u povratnoj sprezi. Da bi se postigla učestanost odmeravanja od 15 ms, i ovaj modul je izdvojen na posebnu procesorsku ploču.

4. KINEMATIČKI MODUL

Zadatak kinematičkog modula je da obezbedi odredjivanje vremenske raspodele unutrašnjih uglova $q_i(t)$, $i=1, \dots, n$ za različite tipove kretanja. Sinteza omogućuje linearno kretanje između dve tačke, za zadato vreme ili zadatu brzinu, različitim profilima ubrzanja (pravougaono, trapezno, parabolično, kosinusno), i to bilo u prostoru unutrašnjih ili prostoru spoljašnjih koordinata (pravougla koordinate hvataljke u nepokretnom sistemu i Euler-ovi uglovi između koordinatnog sistema hvataljke i nepokretnog sistema). Takođe je obezbedjeno kontinualno kretanje u unutrašnjim i spoljašnjim koordinatama između proizvoljnog broja tačaka, zadatih bilo u unutrašnjim ili spoljašnjim koordinatama (kretanje bez zaustavljanja u središnjim tačkama). Kinematički modul podržava i tri različita tipa brzinskog kretanja robota koji su neophodni radi lakšeg obučavanja robota. U prvom modusu zadaju se brzine promene unutrašnjih koordinata, u drugom se zadaju brzine promene pozicijehvataljke u nepokretnom sistemu i brzine promene Euler-ovih uglova. Treći modul je namenjen finim podešavanjima pozicije i orijentacije u okolini radnog predmeta. Kod njega se zadaju brzine pomeranja hvataljke u pravcu i oko osa koordinatnog sistema vezanog za hvataljku.

Postupak sinteze kretanja koristi isključivo simboličko kinematički model. Program za izračunavanje direktnog kinematičkog problema je dobijen automatski uz pomoć programskog paketa za generisanje simboličkog kinematičkog modela proizvoljnog manipulatora [3]. Inverzan kinematički problem se takođe rešava analitički za dati manipulator. Korišćenje brzog modela je ovde od izuzetnog značaja, jer se radi o sintezi kretanja u realnom vremenu (odredjivanje unutrašnjih uglova se vrši u toku samog kretanja). Prednosti koje pruža on-line sinteza kretanja su višestruke (mogućnost podešavanja trajektorije u funkciji stanja senzora, znatno memorijske uštede, itd.).

Programski sistem za sintezu kretanja je višestruko obezbedjen od grešaka koje potiču od lošeg programiranja robota i od eventualno loše komunikacije sa višim

upravljačkim nivoom (hardverski kvar). Provere se vrše kako u pripremi kretanja tako i u toku samog izvršavanja. U slučaju pojave greške, robot se zaustavlja a informacija o uzroku zastoja šalje višem upravljačkom nivou.

5. DINAMIČKI MODUL

Dinamički modul obuhvata "feed-forward" kompenzaciju sračunatu na osnovu dinamičkog modela robota i digitalne lokalne regulatore sa proporcionalnim, integralnim i diferencijalnim dejstvom. Kompenzacija nominalne dinamike se vrši za robot UMS-7 prema sledećim izrazima:

$$H_{11} = C_0 + [C_1 \cos q_2^0 + C_2 \sin(q_2^0 + q_3^0)] \cdot \cos q_2^0 + C_3 \sin^2(q_2^0 + q_3^0)$$

$$H_{22} = C_4 + C_2 \sin q_3^0$$

$$H_{32} = C_3 + C_5 \sin q_3^0$$

$$H_{33} = C_3$$

$$H_{44} = C_7 \sin^2 q_5^0 + C_8 \cos^2 q_5^0$$

$$H_{55} = C_7$$

$$H_{66} = C_8$$

$$G_4 = C_6 \sin^2 q_4^0 \sin q_5^0 \sin(q_2^0 + q_3^0)$$

$$G_5 = -C_6 [\cos q_4^0 \cos q_5^0 \sin(q_2^0 + q_3^0) + \sin q_5^0 \cos(q_2^0 + q_3^0)]$$

$$P_i^0 = \sum_{j=1}^n H_{ij} \ddot{q}_j^0 + G_i; \quad (H_{ij} = H_{ji})$$

$$u_i^0 = D_a^i P_i^0 + D_b^i \ddot{q}_i^0 + D_c^i \dot{q}_i^0 \quad (i=1, \dots, n)$$

pri čemu su $G_1=G_2=G_3=G_6=0$, a $n=6$. U gornjim izrazima H_{ij} označava (i,j)-ti element inercijalne matrice, G_i označava i-ti element gravitacionog vektora, P_i^0 - pogonski moment i-tog aktuatora i u_i^0 - nominalno upravljanje (feed-forward kompenzaciju). Analitički izrazi modela robota su dobijeni primenom Programskog paketa za generisanje dinamičkih modela robota u numeričko-simboličkoj formi [4]. Kako se unutrašnje koordinate, brzine i ubrzanja sračunavaju u kinematičkom procesoru, kompletna nominalna dinamika se izračunava takodje u ovom procesoru. Tu se takodje vrši ispitivanje da li su pogonski momenti došli do dozvoljenih granica i, ukoliko jesu, vrši se njihovo ograničavanje, kao i izračunavanje dozvoljenih ubrzanja.

Kako je perioda kinematike znatno veća od periode dinamičkog procesora, unutrašnje koordinate, brzine i ubrzanja se interpoliraju sa periodom dinamičkog procesora. U trećem procesoru se nalazi i modul za očitavanja podataka sa merača unutrašnjih koordinata robota (inkrementalnih davača). Upravljački signali se formiraju na osnovu

$$u_i = \ddot{u}_i^0 + k_{pi}(\dot{q}_i^0 - \dot{q}_i) + k_{vi}(\ddot{q}_i^0 - \ddot{q}_i) + k_{Ii}e_i$$

gde je $e_i = \ddot{q}_i(t-T) + (\dot{q}_i^0 - \dot{q}_i)T_{din}$

gde su \ddot{u}_i^0 , \dot{q}_i^0 , \ddot{q}_i^0 interpolisane vrednosti izlaza iz kinematičkog procesora, k_{pi} , k_{vi} i k_{Ii} su pojačanja, $e_i(t-T)$ integralna greška iz prethodnog intervala, T_{din} perioda dinamičkog procesora.

U dinamičkom procesoru se vrše ispitivanja na ograničenja na upravljanje. Postignuta je učestanost odmeravanja od 50 Hz.

REFERENCE:

- [1] Taylor R.H., Summers P.D., Meyer J.N., "AML: A Manufacturing Language", Robotic Research, Vol.1, No.3, pp 19-41, 1982.
- [2] Vukobratović M., Kirčanski N., Stokić D., Kirčanski M., Karan B., "General-purpose Controller for Industrial Manipulators", Proc. second Yugoslav - Soviet Symp. on Appl. Robotics, June 14-15, Arandjelovac, Yugoslavia, 1984.
- [3] Vukobratović M., Kirčanski M., Kinematics and Trajectory Synthesis of Manipulation Robots, Springer-Verlag, 1985.
- [4] Vukobratović M., Kirčanski N., Real-time Dynamics of Manipulation Robots, Springer-Verlag, 1985.