

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU PRIRODNO-MATEMATIČKOG FAKULTETA U NOVOM SADU

Odlukom Nastavno-naučnog veća Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu sa XVII sednice, od 21.03.1996. godine obrazovana je komisija za ocenu uradene doktorske disertacije pod nazivom *Formiranje matematičkih modela složenih robotskih mehanizama u simboličkom obliku* kandidata mr Miloša Rackovića, za sticanje akademskog stepena doktora računarskih nauka u sastavu:

1. Dr Ratko Tošić, red. prof., PMF Novi Sad, predsednik
2. Dr Miomir Vukobratović, red. prof., akademik, Institut "Mihajlo Pupin" Beograd, član
3. Dr Dragoš Cvetković, red. prof., akademik, ETF Beograd, član
4. Dr Dušan Surla, red. prof., PMF Novi Sad, mentor

Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

Rad je napisan na 171 stranici, sa spiskom literature od 60 bibliografskih jedinica i ima 19 tabela i 13 slika. Sastoji se od sledećih poglavlja:

1. Algoritmi za generisanje matematičkih modela dinamike aktivnih prostornih mehanizama
2. Implementacija algoritama za generisanje matematičkih modela dinamike robotskih mehanizama
3. Smanjivanje računске složenosti modela robotskog mehanizma
4. Primer složenog aktivnog prostornog mehanizma
5. Zaključak

U **prvom poglavlju** je dat pregled algoritama za generisanje matematičkih modela robotskih mehanizama. Detaljno je opisan algoritam za formiranje matematičkog modela prostih kinematičkih lanaca u zatvorenom obliku, koji se zasniva na Njutn-Ojlerovoj metodi i koristi Rodrigovu formulu konačnih rotacija. Ovim algoritmom se model dinamike prostog kinematičkog lanca dobija u obliku:

$$P = H(q, \Theta)\ddot{q} + \dot{q}^T C(q, \Theta)\dot{q} + h^G(q, \Theta) \quad (1)$$

gde su:

- $H(q, \Theta) : R^n \times R^m \rightarrow R^{n \times n}$ - inercijalna matrica sistema,
- $C(q, \Theta) : R^n \times R^m \rightarrow R^{n \times n \times n}$ - matrica Koriolisovih i centrifugalnih efekata,
- $h^G(q, \Theta) : R^n \times R^m \rightarrow R^n$ - gravitacioni vektor,
- $q \in R^n$ - vektor stepeni slobode,
- $\Theta \in R^m$ - vektor dinamičkih i geometrijskih parametara mehanizma.

Korišćenjem dodatnih struktura podataka za opis konfiguracije složenih robotskih mehanizma, algoritam za formiranje matematičkog modela u zatvorenoj formi je proširen na aktivne prostorne mehanizme sastavljene od zatvorenih i otvorenih kinematičkih lanaca. Sada se model složenog aktivnog prostornog mehanizma dobija u obliku:

$$P = H(q, \Theta)\ddot{q} + \dot{q}^T C(q, \Theta)\dot{q} + h^G(q, \Theta) + B(q, \Theta)\sigma \quad (2)$$

gde je:

$B(q, \Theta) : R^n \times R^m \rightarrow R^{n \times 6}$ - matrica zatvaranja lanca,
 $\sigma \in R^6$ - vektor reakcije zatvaranja lanca.

U **drugom poglavlju** je opisana implementacija algoritma za generisanje matematičkog modela robotskih mehanizama u zatvorenoj formi (1), korišćenjem sistema za upravljanje bazama podataka.

Svi izrazi iz matematičkog modela su oblika polinoma, to jest koriste samo operacije sabiranja oduzimanja i množenja. Da bi se takvi izrazi memorisali u bazi podataka, uvodi se struktura podataka koja je opisana u Proširenom Modelu Objekti-Veže. Ova struktura podataka je implementirana u kombinaciji relacionog i mrežnog modela baza podataka, korišćenjem sistema za upravljanje bazama podataka db_VISTA.

Svaki izraz matematičkog modela se obrađuje odgovarajućom procedurom, kojom se memoriše u bazi podataka i dobija se kompletan matematički model robotskog sistema, memorisan u bazi podataka. Navigacijom kroz bazu podataka se mogu formirati analitički izrazi i/ili izračunati numeričke vrednosti za članove matrica H i C , kao i vektora h^G matematičkog modela (1).

Svi algoritmi su implementirani u programskom jeziku C na SCO UNIX operativnom sistemu.

U **trećem poglavlju** su opisani algoritmi za ažuriranje baze podataka u cilju smanjenja računске složenosti generisanog modela robotskog mehanizma.

Prvo je opisano formiranje kompletnih analitičkih izraza modela. Nad dobijenim izrazima se primenjuju algoritam za eliminisanje trigonometrijskih izraza i algoritam za eliminisanje identičnih izraza. Ovim algoritmima se eliminišu redundantne matematičke operacije iz analitičkih izraza modela.

Nakon toga je formiran graf ili podgraf izračunavanja za analitičke izraze članova matrica H , C i vektora h^G , sa što je manje moguće računskih operacija. Prvo se izrazi rastavljaju na proizvode i radi toga je dokazana teorema koja utvrđuje potrebne i dovoljne uslove za rastavljanje izraza. Nad dobijenim izrazima se dalje primenjuje algoritam izvlačenja monoma. Posle primene ovog algoritma, dobija se model robotskog sistema predstavljen u vidu prvobitne strukture podataka.

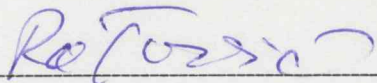
U **četvrtom poglavlju** je prikazano generisanje i smanjivanje računске složenosti modela antropomorfno lokomocionog robotskog mehanizma (2). Prikazani su rezultati dobijeni na primeru antropomorfno mehanizma koji se sastoji od 14 segmenata, povezanih rotacionim zglobovima. Mehanizam je sastavljen od tri prosta kinematička lanca. Postupak formiranja i smanjivanja računске složenosti matematičkog modela je primenjen na svaki kinematički lanac mehanizma posebno.

Poslednje **peto poglavlje** sadrži zaključke na osnovu prikazanih rezultata, generalizaciju rešenja postavljenih problema, kao i dalje mogućnosti istraživanja pomenutih oblasti, koje proizilaze iz ove disertacije.

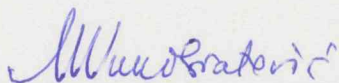
Kandidat predlaže da se za formiranje matematičkih modela robotskih sistema koriste sistemi za upravljanje bazama podataka. Ovakvim pristupom proces modeliranja sistema dobija visok nivo apstrakcije. Tako dobijena struktura podataka je veoma pogodna za implementaciju efikasnih algoritama za formiranje modela i smanjivanje broja računskih operacija u modelu. U cilju savladavanja računске složenosti za smanjivanje broja računskih operacija, dokazana je teorema koja daje potrebne i dovoljne uslove za rastavljanje izraza na proizvode. Na osnovu ovoga su formirani algoritmi za ažuriranje baze podataka u cilju dobijanja grafa izračunavanja modela sa manjim brojem računskih operacija. Razvijeni su i algoritmi za razbijanje grafa izračunavanja na podgrafove, nad kojima se zatim primenjuju uvedeni algoritmi za smanjivanje računске složenosti. Pomoću uvedenih i implementiranih algoritamskih struktura za formiranje matematičkih modela, za konkretne robotske mehanizme su dobijeni modeli sa manjim brojem računskih operacija u odnosu na postojeće metode modeliranja robotskih mehanizama. Time je dat značajan naučni doprinos u oblasti matematičkog modeliranja robotskih mehanizama u simboličkom obliku.

Na osnovu iznetog Komisija predlaže Veću da prihvati pozitivnu ocenu doktorske disertacije *Formiranje matematičkih modela složenih robotskih mehanizama u simboličkom obliku*, kandidata mr Miloša Rackovića za sticanje akademskog stepena doktora računarskih nauka.

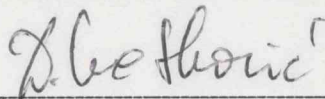
Komisija:



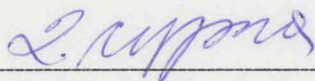
Dr Ratko Tošić, red. prof., predsednik



Dr Miomir Vukobratović, akademik, član



Dr Dragoš Cvetković, akademik, član



Dr Dušan Surla, red. prof., mentor