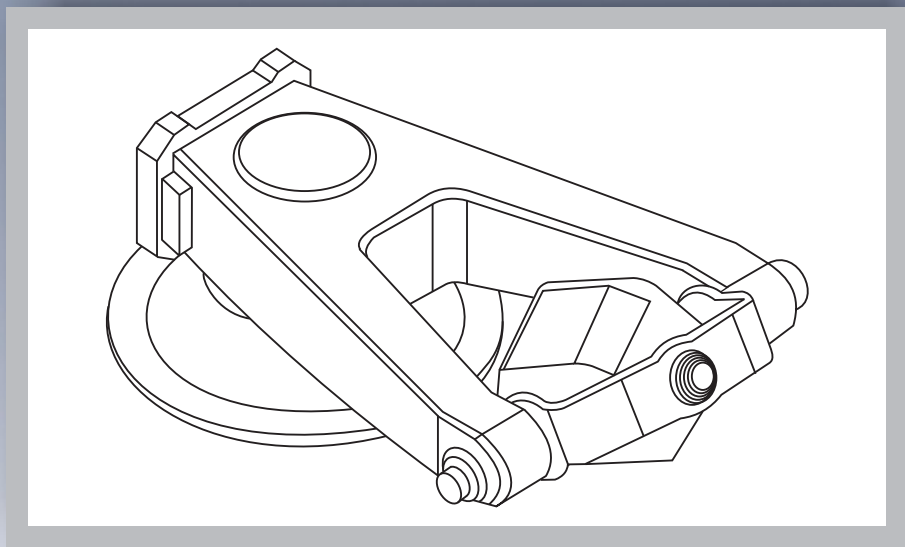


УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Прилог моделирању и управљању роботских и адаптронских система

Михаило Лазаревић
Јелена Видаковић
Милан Цајић
Петар Мандић



Машински факултет
Универзитета у Београду, 2014

Михаило Лазаревић • Јелена Видаковић • Милан Цајић • Петар Мандић

Прилог моделирању и управљању роботских и адаптронских система

**Машински факултет
Универзитет у Београду
2014**

Др Михаило П. Лазаревић, редовни професор
Машински факултет, Универзитет у Београду

Јелена Видаковић, дипл.инж.маш.

Милан Цајић, *M.Sc.* (маст. инж. маш.)

Петар Мандић, дипл.инж.маш., асистент

**Прилог моделирању и управљању
роботских и адаптронских система**

Монографија
Monograph

I издање

Рецензенти

Др Александар Обрадовић, редовни професор
Машинског факултета у Београду

Др Томислав Шекара, ванредни професор
Електротехничког факултета у Београду

Др Јосиф Вуковић, редовни професор у пензији
Машинског факултета у Београду

Издавач

Универзитет у Београду
Машински факултет Београд
11000 Београд, Краљице Марије 16

За издавача

Др Александар Обрадовић, проф.

Одобрено за штампу

Одлуком Декана бр. 274/14 од 19.06.2014.

Београд, 2014
Тираж: 200 примерака

Штампа: ФЛАНЕТА print

ISBN 978-86-7083-833-8

Прештампавање, умножавање, фотокопирање или репродукција целе књиге или неких њених делова није дозвољена

Др Михаило Лазаревић
Јелена Видаковић, дипл. инж. маш.
Милан Цајић, M.Sc.
Петар Мандић, дипл. инж. маш.

*Прилог моделирању и управљању
роботских и адаптронских система*

Машински факултет
Универзитет у Београду
2014

Захвалност

*Издање ове научне монографије финансијски је помогло
Министарство за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије,*

**Прилог моделирању и управљању
роботских и адаптронских система**

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. Увод у механику робота, основни појмови.....	1
1.2. Одређивање положаја крутог тела	6
1.3. Одређивање броја степени слободе кретања за случај основних кретања крутог тела	9
1.4. Ортогонална матрица трансформације.....	15
1.5. Дуални објекти	26
1.6. Родригова матрица трансформације	27
1.7. Сложена матрица трансформације.....	36
1.8. Директан и инверзан задатак кинематике	40
1.9. Кинематичке величине роботског система.....	41
1.10. Моделовање динамике роботског система	43
2. КИНЕМАТИЧКИ И ДИНАМИЧКИ МОДЕЛ ЦЕНТРИФУГЕ.....	50
2.1. Увод.....	50
2.2. Кинематичко моделирање: Денавит-Хартенберг метода.....	52
2.3. Кинематичко моделирање: Родригов приступ.....	59
2.4. Одређивање Јакобијан матрице	64
2.5. Развој кинематичког модела у простору кватерниона	66
2.6. Развој динамичког модела хумане центрифуге.....	74
3. ОДРЕЂИВАЊЕ РЕАКЦИЈА ВЕЗА У ЗГЛОБОВИМА СИСТЕМА ВИШЕ КРУТИХ ТЕЛА ПРИМЕНОМ ВЕКТОРА МОМЕНАТА ИНЕРЦИЈЕ МАСА, ВЕКТОРА РОТАТОРА И РОДРИГОВОГ ПРИСТУПА.....	81
3.1. Увод.....	81
3.2. Одређивање реакција веза применом вектора момената инерције маса и вектора ротатора	81
3.3. Одређивање реакција веза.....	89
3.4. Одређивање главног вектора и главног момента реакције веза за систем крутих тела са три степена слободе кретања.....	95

4. ГЕНЕРАЛИСАНЕ СИЛЕ ОД ПИЕЗО-ВИСКОЕЛАСТИЧНОГ И МАГНЕТОРЕОЛОШКОГ ЕЛЕМЕНТА У РОБОТСКОМ СИСТЕМУ.....	101
4.1 Увод.....	101
4.2 Једначине кретања система више крутих тела са структуром отвореног кинематског ланца и везаним елементима.....	102
4.3 Одређивање генералисаних сила ПКВ и МР елемента са изводима нецелобројног реда.....	104
5. УПРАВЉАЊЕ СИСТЕМОМ ПРИМЕНОМ ИТЕРАТИВНОГ УПРАВЉАЊА УЧЕЊЕМ НЕЦЕЛОБРОЈНОГ РЕДА.....	112
5.1 Основни појмови итеративног управљања учењем.....	112
5.2 Итеративно управљање учењем нецелобројног реда.....	119
6. ЈЕДАН НОВИ АЛГОРИТАМ УПРАВЉАЊА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ УГАОНЕ БРЗИНЕ КРАКА ХУМАНЕ ЦЕНТРИФУГЕ ПРИ РЕЖИМУ РАДА У ОТВОРЕНОЈ ПЕТЉИ.....	130
6.1 Увод.....	130
6.2 Жељени режим рада хумане центрифуге:поставка проблема.....	131
6.3 Одређивање угаоне брзине крака центрифуге.....	134
6.4 Примена нумеричких метода у циљу одређивања угаоне брзине крака центрифуге.....	138
6.5 Случај негативног прираштаја убрзања.....	143
7. НАПРЕДНО УПРАВЉАЊЕ РОТАЦИОНИМ ИНВЕРЗНИМ КЛАТНОМ.....	148
7.1 Једначине понашања ротационог инверзног клатна.....	148
7.2 Пројектовање управљачког система.....	150
7.3 ПД алгоритам управљања нецелобројног реда.....	153

ДОДАЦИ

Додатак А. - Неки изводи из анализе- L^p простори и простори апсолутно непрекидних и непрекидних функција	159
Додатак Б. Адаптронски системи.....	162
Додатак В. Основе управљачких система за роботске системе.....	168
Додатак Д. Основе <i>feedback</i> линеаризације	177
Додатак Е. Основе рачуна нецелобројног реда	188
ЛИТЕРАТУРА	201

ПРЕДГОВОР

Данас смо сви свесни чињенице да су роботски односно адаптронски системи заступљени у свим гранама технике и у неким другим научним дисциплинама, а почетак њихове практичне примене датира још од тридесетих година прошлог века када је остварена значајна модернизација производње. Такође, најновији трендови у области примене роботских и адаптронских система указују на све већу њихову заступљеност у човековом свакодневном животу на «*home-friendly*» начин као и све већу употребу у рехабилитацији и у појединим гранама медицине, као и у пројектовању квалитетнијих, бољих мехатроничких/адаптронских производа и система односно дају изузетан допринос и у области тзв. *health monitoring*-у различитих конструкција, као и одговарајућих техничко-технолошких процеса. Осим тога, моделирање динамике датог роботског/адаптронског система као и управљање истих представља актуелан, захтеван и изазован задатак.

Са становишта механике роботски системи/адаптронски системи представљају системе крутих (еластичних) тела и као такви се даље могу егзактно проучавати. При томе, тополошка структура на пример једног ученог роботског/адаптронског система, може бити представљена у виду отвореног кинематичког ланца без или са гранањем или у облику затвореног кинематичког ланца. У математичком смислу динамички модели таквих система описани су обичним нелинеарним диференцијалним једначинама.

У овој монографији представљени су пажљиво одабрани досадашњи резултати из ове области првопотписаног аутора односно резултати који су проистекли из евидентне сарадње са његовим колегама, докторантима који се баве овом проблематиком.

Посебан квалитет у првом делу ове монографије представљају добијени резултати који се односе на проблематику моделирања динамике роботског система (хумане центрифуге) применом теорије кватерниона односно одређивању реакција веза и кинетичких притисака у зглобовима датих система који се могу одредити и у симболичком облику.

Такође, не мањи значај даје чињеница да су по први пут у оквиру динамике адаптронских система, за случај где су за два различита тела у систему везан дати пиезо-модификовани вискоеластични/МР (магнетореолошки) елементи, добијени изрази у аналитичком облику за генералисане силе пиезо-вискоеластичног/ МР елемента. Променом параметара датих вискоеластичних елемената разматран је њихов утицај на динамику датог адаптронског система.

У другом делу монографије, остварена је примена класичне теорије управљања као и савремене теорије рачуна нецелобројног реда (*fractional calculus*-а) у задацима управљања кретањем роботског система (ротационим инверзним клатном), као и итеративног управљања путем учења. Такође, приказан је и нови алгоритам управљања у циљу одређивања угаоне брзине крака хумане центрифуге при режиму рада у отвореној петљи.

Изложена материја подржава актуелне трендове у овај области и предствља селективан текст који садржи и нека теоретска знања преузета из савремених уџбеника из ове области а све са циљем да се заинтересованом читаоцу омогући лакши и непосреднији приступ овој сложеној проблематици.

Имајући значај развоја и примене роботских/адаптронских система, ова монографија ће по свом садржају заинтересовати сигурно и стручњаке специјализоване, не само за теоријски већ и за истраживачки и практичан рад, па ће аутори бити захвални на свим сугестијама у погледу побољшања квалитета њеног садржаја.

Др Александру Обрадовићу, редовном професору Машинског факултета Универзитета у Београду, др Јосифу Вуковићу, редовном професору у пензији Машинског факултета у Београду, и др Томиславу Шекари, ванредном професору Електротехничког факултета Универзитета у Београду, захваљујемо се на корисним сугестијама и труду око рецензије ове монографије.

За показани велики ентузијазам и рад око техничке обраде књиге захвални смо колеги Радомиру Матејићу, апсолвенту Машинског факултета у Београду.

А у т о р и

Београд, 2014. год.