

Robert Grepl

**MODELOVÁNÍ
MECHATRONICKÝCH
SYSTÉMŮ
V MATLAB SIMMECHANICS**

Praha 2007



Poděkování:

Výsledků publikovaných v této knize bylo dosaženo také za podpory projektů GAČR 101/06/P108 „Výzkum simulačního a experimentálního modelování dynamiky mobilních kráčejších robotů“ a MSM 0021630518 „Simulační modelování mechatronických soustav“.

Za laskavé přečtení textu a cenné poznámky dále děkuji Ing. Milanu Bezdíčkovi (Robert Bosch s.r.o., České Budějovice), Ing. Romanu Greplovi (Siemens A.G., Nürnberg) a Ing. Davidu Vlachému (FSI VUT v Brně). Za trpělivost a podporu děkuji Kamile.

Lektor: Doc. Ing. Karel Přikryl, CSc., FSI, VUT v Brně

Ing. Jan Daněk, Humusoft s. r. o.

Robert Grepl

Modelování mechatronických systémů v Matlab SimMechanics

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© Ing. Robert Grepl, Praha 2007

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

R. Grepl: Modelování mechatronických systémů v Matlab SimMechanics

BEN – technická literatura, Praha 2007

1. vydání

ISBN 97-880-7300-226-8

Obsah

1	ÚVOD	7
1.1	Motivace: dvojité kyvadlo	9
1.1.1	Odvození pohybové rovnice a model v Simulinku	10
1.1.2	Model v prostředí SimMechanics	11
1.2	O tomto textu	12
1.3	O SimMechanics	13
1.3.1	Charakteristika SimMechanics	13
1.3.2	FAQ – charakteristika SimMechanics pomocí odpovědí na často kladené otázky	15
1.3.3	Příklady využití modelu v SimMechanics	16
2	PROSTOROVÁ KINEMATIKA	19
2.1	Popis orientace tělesa v prostoru	21
2.1.1	Rotační matice	22
2.1.2	Derivace rotační matice	25
2.1.3	Eulerovy úhly	26
2.2	Homogenní souřadnice	27
2.2.1	Motivace	27
2.2.2	Definice	29
2.2.3	Prostorové transformace s použitím homogenních souřadnic	30
2.3	Základní úlohy kinematiky	31
2.3.1	Přímá úloha kinematiky	31
2.3.2	Nepřímá úloha kinematiky	32
3	DYNAMIKA MBS	35
3.1	Systémy se soustředěnými a rozloženými parametry	37
3.2	Modelování dynamiky MBS	38
3.2.1	Postup modelování	38

3.2.2	Klasický přístup a základní metody pro sestavení matematického modelu	39
3.2.3	Automatická tvorba matematického modelu	39
3.2.4	Některé aspekty dynamických formalismů	40
3.2.5	Charakteristika dynamického formalismu v SimMechanics	43
3.3	Základní úlohy dynamiky	44
4	ZÁKLADY SIMMECHANICS	45
4.1	Základní pojmy	47
4.1.1	Klasifikace vazeb mezi tělesy v MBS	47
4.1.2	Vazby v SimMechanics	48
4.1.3	Definice působení ve vazbě	49
4.1.4	Topologie modelu	49
4.1.5	Počet stupňů volnosti	50
4.2	Poznámky k tvorbě modelu	52
4.2.1	Doporučený postup modelování	52
4.2.2	Relativní poloha bodů na tělese pomocí „Adjoining“	53
4.2.3	Počáteční stav soustavy při inverzní kinematické úloze	53
4.2.4	Propojení SimMechanics a Simulink	54
4.3	Poznámky k některým blokům SimMechanics	55
4.3.1	Přehled bloků SimMechanics	55
4.3.2	Správné chápání multi-primitive joints	56
4.3.3	Vlastnosti bloku Body Sensor	57
4.3.4	Reakční síly a momenty měřené blokem Joint Sensor	59
4.4	Typy analýz v SimMechanics	60
4.5	Další poznámky	62
5	POKROČILEJŠÍ PROBLÉMY V SIMMECHANICS	63
5.1	Rovnovážná poloha mechanismů (Trimming) a linearizace modelu	65
5.1.1	Úvod	65
5.1.2	Nalezení rovnovážné polohy	65

5.1.3	Příklad: Kyvadlo s torzní pružinou (1dof)	66
5.1.4	Linearizace dynamického modelu	70
5.2	Modelování valení	71
5.2.1	Zadání problému a definice valivé vazby v SimMechanics	71
5.2.2	Valení bez prokluzu	72
5.2.3	Valení s možným prokluzem	73
5.3	Modelování smykového tření	75
5.3.1	Základní teorie a simulace	75
5.3.2	Joint Stiction Actuator	76
5.4	Vizualizace mechanismů ve VRML	79
5.4.1	Úvod	79
5.4.2	Tvorba modelu VRML	80
5.4.3	Prostorové transformace ve VRML	81
5.4.4	Dva typy VRML modelů a jejich propojení se SimMechanics	82
5.4.5	Implementační poznámky	83
6	ŘEŠENÉ ÚLOHY	85
6.1	Fyzikální kyvadlo	87
6.1.1	Odvození pohybové rovnice a model v Simulinku	88
6.1.2	Model v prostředí SimMechanics	88
6.2	Mechanický oscilátor (1dof)	90
6.2.1	Odvození pohybové rovnice a model v Simulinku	90
6.2.2	Model v prostředí SimMechanics	90
6.3	Mechanický oscilátor (2dof)	92
6.4	Let rakety s úbytkem paliva	94
6.5	Přímá úloha kinematiky rovinného manipulátoru RRR	95
6.6	Inverzní kinematika rovinného manipulátoru RRR	96
6.7	Přímá úloha kinematiky čtyřkloubového mechanismu	98
6.8	Vizualizace rovinného manipulátoru RRR	99
6.8.1	Propojení simulace s VR modelem s nezávislými tělesy	100
6.8.2	Propojení simulace s VR modelem se stromovou strukturou	101
6.9	Paralelní mechanismus	101

6.10	Špalíková brzda (modelování smykového tření)	103
6.11	Naviják a břemeno na laně	104
6.11.1	Odvození rovnic pro model v Simulinku	105
6.11.2	Model v SimMechanics	106
6.12	Vačka	107
6.13	Model rotační vazby s omezením	109
6.13.1	Zadání	109
6.13.2	Lineární visko-elastický model kontaktu	110
6.13.3	Volba parametrů k a b	111
6.13.4	Implementace v SimMechanics	112
6.14	Těžký gyroskop	113
6.15	DC motor připojený na klikový mechanismus	115
6.16	Rotorová soustava	116
6.17	Dynamika fotbalového robota	118
6.18	Řízení inverzního kyvadla (1 dof)	121
6.18.1	Lineární model analyticky	122
6.18.2	Lineární model s pomocí SimMechanics	123
6.18.3	Řízení a testování	123
6.19	Řízení nestabilního dopravního prostředku	125
6.19.1	Vytvoření modelu v SimMechanics	126
6.19.2	Linearizace a návrh řízení	128
7	ZÁVĚR	131
	POUŽITÁ A DOPORUČENÁ LITERATURA A ODKAZY	139
	REJSTRÍK	141
	SLOVNÍK POJMŮ	143