

Anna Jadlovská, Slávka Jadlovská

Moderné metódy
modelovania a riadenia
nelineárnych systémov



2013

Moderné metódy modelovania a riadenia
nelineárnych systémov

Anna Jadlovská
Slávka Jadlovská

ISBN 978-80-8086-228-2



9 788080 862282

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA KYBERNETIKY A INFORMATIKY**

**MODERNÉ METÓDY MODELOVANIA A RIADENIA
NELINEÁRNYCH SYSTÉMOV**

Anna Jadlovská, Slávka Jadlovská

2013

Recenzenti: **Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.**
Ing. Michal Lipčák, PhD.

doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD., FEI TU Košice

Ing. Slávka Jadlovská, FEI TU Košice

Moderné metódy modelovania a riadenia nelineárnych systémov

Vydanie tejto monografie bolo finančne podporené projektom:

Kega 034 TUKE – 4/2011: Vypracovanie moderných vysokoškolských učebníc pre ťažiskové jednotky nového transformovaného študijného programu „Kybernetika a informačno-riadiace systémy na druhom stupni štúdia“

© Anna Jadlovská, Slávka Jadlovská, 2013

ISBN 978-80-8086-228-2

EAN 9788080862282

Obsah

Zoznam použitých symbolov a skratiek.....	7
Úvod	11
I MODELOVANIE A OPTIMÁLNE RIADENIE NELINEÁRNYCH PODAKTUOVANÝCH DYNAMICKÝCH SYSTÉMOV	17
1 Modelovanie nelineárnych podaktuovaných dynamických systémov s využitím prístupov klasickej mechaniky	19
1.1 Základné predpoklady, pojmy a definície	19
1.1.1 Lagrangeovská formulácia mechaniky	19
1.1.2 Plne aktuované a podaktuované mechanické systémy.....	21
1.2 Matematické modelovanie systémov inverzných kyvadiel.....	23
1.2.1 Koncept zovšeobecného systému inverzných kyvadiel	25
1.2.2 Zovšeobecný systém klasických inverzných kyvadiel.....	26
1.2.3 Zovšeobecný systém rotačných inverzných kyvadiel	29
1.2.4 Programová implementácia všeobecného postupu na generovanie matematického modelu systému inverzných kyvadiel.....	32
1.2.5 Implementácia jednosmerného motora do silovo/momentového modelu systému inverzných kyvadiel.....	38
1.3 Matematické modelovanie podaktuovaných robotických a dopravných systémov.....	42
2 Optimálne riadenie nelineárnych podaktuovaných dynamických systémov.....	48
2.1 Optimálne stavové riadenie dynamických systémov s využitím linearizovaného modelu.....	49
2.1.1 Lineárna aproximácia podaktuovaných nelineárnych systémov	49
2.1.2 Optimálne stavové riadenie s využitím minimalizácie kvadratického funkcionálu.....	54
2.1.3 Aplikácia metód optimálneho stavového riadenia v riadení systémov inverzných kyvadiel.....	56
2.2 Návrh optimálneho riadenia podaktuovaných systémov s využitím stavovo závislej Riccatiho rovnice	63
2.3 Prediktívne riadenie založené na stavovom modeli dynamického systému.....	66
2.3.1 Formulácia prediktívneho riadenia založeného na modeli systému	67
2.3.2 Prediktívne riadenie a princíp pohyblivého horizontu.....	71

3	Teória hybridných systémov v modelovaní a riadení podaktuovaných dynamických systémov.....	73
3.1	Úvod do hybridných systémov.....	74
3.1.1	Matematické reprezentácie – modely hybridných systémov	75
3.1.2	Softwarové nástroje pre modelovanie, simuláciu a riadenie hybridných systémov	78
3.2	Hybridné metódy riadenia podaktuovaných systémov	80
3.2.1	Princípy prepínaného riadenia dynamických systémov.....	81
3.2.2	Výšvih a stabilizácia systémov jednoduchých inverzných kyvadiel	82
II	MODELOVANIE NELINEÁRNYCH SYSTÉMOV S VYUŽITÍM NEURÓNOVÝCH SIETÍ	87
4	Niektoré poznatky o neurónových sieťach	89
4.1	Architektúra viacvrstvovej perceptrónovej siete.....	90
4.2	Maticová notácia algoritmu spätného šírenia chyby	92
4.2.1	Matica zosilnenia	94
4.3	Viacvrstvová perceptrónová sieť s jednou skrytou vrstvou.....	95
4.4	Rekuzívne metódy založené na výstupnej predikčnej chybe.....	96
4.4.1	Štruktúralne usporiadanie prvkov vektora parametrov θ	97
4.4.2	Gauss – Newtonova metóda (GNM).....	100
4.4.3	Gradientová metóda najväčšieho klesania (SDM).....	101
5	Dynamické neurónové modely	103
5.1	Prehľad rôznych typov identifikačných štruktúr	105
5.1.1	Dopredné neurónové modely.....	105
5.1.2	Inverzné neurónové modely.....	107
5.2	Normalizácia.....	109
5.3	Dynamické modely s merateľnými vstupmi a výstupmi	111
5.3.1	Vstupno / výstupný opis	111
5.3.2	Stavový opis.....	113
5.4	Dynamické modely s niektorými nemerateľnými vstupmi	114
5.4.1	Vstupno/výstupný opis, variant 1	116
5.4.2	Vstupno/výstupný opis, variant 2	118
5.4.3	Stavový opis.....	119
5.5	Dynamické modely s niektorými nemerateľnými vstupmi a výstupmi	121
5.5.1	Kalmanov prediktor (NISS).....	121
5.6	Modelovanie nelineárneho dynamického MIMO systému.....	124
5.6.1	Matematický popis simulačného modelu.....	125
5.6.2	Získanie tréningovej množiny dát	127

5.6.3	Nelineárny ARMAX model pre tepelný systém.....	132
5.6.4	Validita modelu.....	133
5.6.5	Predikcia NARMAX modelom	133
5.6.6	Simulácia s NARMAX modelom	136
III	RIADENIE NELINEÁRNYCH SYSTÉMOV S VYUŽITÍM	
	NEURÓNOVÝCH SIETÍ	139
6	Základné štruktúry a aplikácie neurónových sietí v riadení.....	141
6.1	Aplikačné možnosti zapojenia neurónových modelov v riadiacich štruktúrach.....	141
6.1.1	Priame inverzné riadenie (DIC).....	142
6.1.2	Riadenie s vnútorným modelom (IMC).....	143
6.1.3	Riadenie s referenčným modelom (MRC).....	144
6.1.4	Adaptívne riadenie na báze neurónových sietí	144
6.1.5	Prediktívne riadenie založené na neurónovom modeli systému	145
7	Návrh štruktúr riadenia na základe inverzného modelovania.....	147
7.1	Trénovanie neurónového regulátora pre nelineárny systém	147
7.2	Aplikácia inverzného neurónového modelu nelineárneho MIMO systému	
	v navrhovanej štruktúre pre priame inverzné riadenie	150
7.3	Aplikácia inverzného neurónového modelu nelineárneho MIMO systému	
	v navrhovanej štruktúre riadenia s dopredným regulátorom	152
7.4	Aplikácia štruktúry riadenia s dopredným regulátorom na riešenie problému	
	sledovania	157
8	Návrh štruktúr riadenia na základe odhadu parametrov modelu	
	nelineárneho systému	175
8.1	Aplikácia metódy rozmiestnenia pólov v návrhu algoritmu riadenia	
	s neurónovým modelom pre nelineárny systém	176
8.2	Aplikácia neurónového modelu v návrhu algoritmu zovšeobecného	
	prediktívneho riadenia pre nelineárny systém.....	189
8.2.1	Odvodenie prediktora s využitím algebraickej teórie a výpočet optimálneho	
	riadenia pre algoritmus GPC.....	190
8.2.2	Voľba hodnôt predikčného a riadiaceho horizontu.....	197
8.2.3	Návrh algoritmu GPC s neurónovým modelom	199
9	Modifikácia a aplikácia algoritmov na báze neurónových modelov v	
	riadení nelineárnych systémov	205
9.1	Simulačné overenie navrhnutých algoritmov NSTC a NGPC v riadení	
	nelineárnych systémov.....	205

9.2 Implementácia ohraničení a rekurentného výpočtu prediktora do návrhu algoritmu GPC_{RS} s neurónovým modelom	221
9.2.1 Predikcia parametrov linearizovaného modelu NARX	229
9.2.2 Návrh modifikovaného algoritmu prediktívneho riadenia GPC_{NARXS} s využitím predikcie parametrov neurónového modelu NARX	231
9.2.3 Aplikácia prediktívneho riadenia GPC_{NARXS} s využitím predikcie parametrov neurónového modelu NARX na simulačný model nelineárneho systému.....	233
Zhodnotenie jednotlivých kapitol monografie	249
Záver	257
Zoznam použitej literatúry	259