

Spis treści

Oznaczenia	5
1 Wstęp	9
2 Preliminaria	15
2.1 Nieliniowy układ dynamiczny	15
2.2 Nieliniowy układ sterowania	18
2.3 Przestrzeń stanu	19
2.4 Elementy analizy funkcjonalnej i rachunku wariacyjnego	20
2.4.1 Przestrzeń wektorowa	21
2.4.2 Przestrzeń funkcyjna	21
2.4.3 Wymiar i kowymiar	22
2.4.4 Wariacja	22
2.4.5 Pochodna Gâteaux	23
2.4.6 Metoda mnożników Lagranża	24
2.5 Elementy geometrii różniczkowej	25
2.5.1 Rozmaitość	25
2.5.2 Foliacja i liście	30
2.5.3 Przestrzeń styczna i wiązka styczna	31
2.5.4 Przestrzeń dualna, przestrzeń kostyczna i wiązka ko- styczna	35
2.5.5 Włókna i wiązka włóknista	36
2.6 Nieholonomiczne układy robotyczne	37
2.7 Uwagi bibliograficzne	46
3 Idea endogenicznej przestrzeni konfiguracyjnej	47
3.1 Endogeniczna przestrzeń konfiguracyjna	47
3.1.1 Skończenie wymiarowa endogeniczna przestrzeń konfi- guracyjna	49
3.2 Strumień układu	51
3.3 Odwzorowanie końcowe	52
3.4 Jakobian nieholonomicznego układu robotycznego	53
3.4.1 Skończenie wymiarowy jakobian nieholonomicznego układu robotycznego	57
3.5 Jakobian dualny (sprzężony)	58
3.6 Macierz Grama	60

3.7	Pseudoodwrotność Moore'a–Penrose'a	63
3.8	Uwagi bibliograficzne	65
4	Jakobianowy algorytm planowania ruchu	67
4.1	Zadanie planowania ruchu	68
4.2	Wyprowadzenie jacobianowego algorytmu planowania ruchu . .	71
4.2.1	Skończenie wymiarowy algorytm planowania ruchu . . .	75
4.3	Redundancja	84
4.3.1	Wykorzystanie redundancji w algorytmie planowania ru- chu	91
4.4	Uwagi bibliograficzne	94
5	Ruchy własne układów nieholonomicznych	95
5.1	Czym są ruchy własne?	96
5.2	Odwzorowanie końcowe	98
5.3	Równanie jacobianowe	104
5.3.1	Przestrzeń jądra jacobianu	105
5.3.2	Operator projekcji ortogonalnej w przestrzeni Hilberta .	107
5.3.3	Rozwiązanie równania jacobianowego	116
5.3.4	Składowe wariacje	117
5.4	Uwagi bibliograficzne	121
6	Jakobianowe algorytmy planowania ruchów własnych	123
6.1	Nieskończenie wymiarowa endogeniczna przestrzeń konfigura- cyjna	123
6.1.1	Proces ortogonalizacji Grama–Schmidta w przestrzeni Hilberta	124
6.1.2	Baza przestrzeni $\text{Im} J_{x_0, T}^\#(\mathbf{u}_\vartheta(\cdot))$	125
6.1.3	Wyznaczenie wariacji w przestrzeni $\text{Ker} J_{x_0, T}(\mathbf{u}_\vartheta(\cdot))$. .	126
6.1.4	Algorytm planowania jednowymiarowych ruchów wła- snych	127
6.1.5	Baza przestrzeni $\text{Ker} J_{x_0, T}(\mathbf{u}_\vartheta(\cdot))$	131
6.1.6	Algorytm planowania wielowymiarowych ruchów własnych	133
6.2	Skończenie wymiarowa endogeniczna przestrzeń konfiguracyjna	136
6.2.1	Wyznaczenie wektorów $\nu_\vartheta^{N_i}$	138
6.2.2	Skończenie wymiarowy algorytm planowania ruchów wła- snych	143
6.3	Uwagi bibliograficzne	148
7	Więcej o ruchach własnych	151
7.1	Ruchy własne w konfiguracjach osobliwych	151
7.2	Zastosowanie ruchów własnych	154