

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
1. WPROWADZENIE – MECHANIKA W ZASTOSOWANIU DO ANALIZY KINEMATYCZNEJ I DYNAMICZNEJ MANIPULATORÓW	7
2. OPIS PRZESTRZENNY POŁOŻENIA CZŁONÓW MANIPULATORA	9
2.1. Globalny i lokalne układy odniesienia	9
2.2. Opis pozycji i orientacji przestrzennej manipulatora	10
2.2.1. Współrzędne względne	11
2.2.2. Współrzędne punktu odniesienia	12
2.2.3. Współrzędne naturalne	14
2.2.4. Współrzędne mieszane	15
2.2.5. Wybór układu współrzędnych dla mechanizmów przestrzennych	16
2.3. Operatory translacji i rotacji dla lokalnych układów odniesienia	18
2.3.1. Macierz transformacji prostej układu współrzędnych	18
2.3.2. Macierze rotacji układu współrzędnych	21
2.3.3. Macierz transformacji odwrotnej	21
2.3.4. Zadanie proste kinematyki	22
2.3.5. Zadanie odwrotne kinematyki	28
3. OPIS STRUKTURY I CHARAKTERYSTYKA MANIPULATORÓW	31
3.1. Klasyfikacja par kinematycznych manipulatora	31
3.2. Obliczanie ruchliwości otwartych łańcuchów kinematycznych	35
3.3. Liczba stopni swobody manipulatora. Równania więzów manipulatora	36
3.3.1. Równania więzów geometrycznych dla układów płaskich	37
3.3.2. Równania więzów geometrycznych dla układów przestrzennych	41
3.4. Macierzowy opis struktury manipulatorów	51
4. KINEMATYKA MANIPULATORA	53
4.1. Definicje prędkości i przyspieszeń członów w globalnym i lokalnych układach odniesienia	53
4.1.1. Wyznaczanie prędkości kątowej członów manipulatora względem globalnego i lokalnych układów odniesienia	53
4.1.2. Wyznaczanie prędkości liniowej członów manipulatora względem globalnego i lokalnych układów odniesienia	54
4.1.3. Wyznaczanie przyspieszenia kątowego członów manipulatora względem globalnego i lokalnych układów odniesienia	56
4.1.4. Wyznaczanie przyspieszenia liniowego członów manipulatora względem globalnego i lokalnych układów odniesienia	56
4.2. Analiza kinematyczna manipulatora	58
4.2.1. Analiza pozycyjna manipulatora	59
4.2.2. Analiza prędkościowa manipulatora	60
4.2.3. Analiza przyspieszeniowa manipulatora	64
4.3. Opis ruchu manipulatora z wykorzystaniem parametrów Eulera	68
4.3.1. Definicja parametrów Eulera	69
4.3.2. Związki tożsamościowe związane z parametrami Eulera	74
4.3.3. Zapis wektorów prędkości i przyspieszenia za pomocą parametrów Eulera ..	79

4.4. Opis ruchu manipulatora z wykorzystaniem współrzędnych Denavita-Hartenberga	84
4.4.1. Definicja współrzędnych Denavita-Hartenberga	85
4.5. Definicja jacobianu prędkości	89
5. PODSTAWY STATYKI MANIPULATORA	94
5.1. Warunki równowagi sił w pojedynczym członie manipulatora	94
5.2. Warunki równowagi manipulatora	96
5.3. Transformacja sił statycznych w członach manipulatora	98
6. PODSTAWY DYNAMIKI MANIPULATORA	101
6.1. Rozkład masy w ciele sztywnym	101
6.1.1. Środek masy ciała sztywnego	101
6.1.2. Momenty bezwładności ciała sztywnego	102
6.1.3. Tensor bezwładności ciała sztywnego	103
6.2. Równanie ruchu Newtona-Eulera dla układów wielocłonowych	108
6.3. Równania Lagrange'a z mnożnikami dla układów wielocłonowych sformułowane we współrzędnych zależnych	109
6.4. Równania ruchu dla układów wielocłonowych sformułowane we współrzędnych niezależnych	112
6.5. Równania ruchu dla układów wielocłonowych sformułowane w parametrach Eulera	114
6.5.1. Siły uogólnione	114
6.5.2. Macierz bezwładności	115
6.5.3. Energia kinetyczna członu zapisana w parametrach Eulera	117
6.5.4. Równania ruchu układu zapisane w parametrach Eulera	118
6.6. Równania ruchu układów wielocłonowych sformułowane we współrzędnych Denavita-Hartenberga	120
6.6.1. Prędkość dowolnego punktu członu manipulatora	120
6.6.2. Energia kinetyczna członu zapisana we współrzędnych Denavita-Hartenberga	125
6.6.3. Energia potencjalna manipulatora zapisana we współrzędnych Denavita-Hartenberga	127
6.6.4. Równania ruchu manipulatora sformułowane we współrzędnych Denavita-Hartenberga	127
6.6.5. Równania ruchu manipulatora z parami obrotowymi	128
6.7. Równania ruchu układów wielocłonowych sformułowane we współrzędnych kanonicznych	137
6.7.1. Równania kanoniczne z mnożnikami Lagrange'a	137
6.7.2. Równania kanoniczne sformułowane we współrzędnych niezależnych	139
6.8. Zadanie symulacji ruchu manipulatora	139
7. PLANOWANIE TRAJEKTORII MANIPULATORA	144
7.1. Poziomy planowania ruchu manipulatora	144
7.2. Zadanie przemieszczenia końcówki roboczej manipulatora wzdłuż zadanej trajektorii	145
Literatura	149