

Spis treści

Streszczenie.....	7
Abstract.....	9
Spis ważniejszych oznaczeń	11
1. Wstęp	15
1.1. Wprowadzenie	15
1.2. Cel i zakres pracy.....	20
1.3. Zawartość pracy	22
2. Metody opisu ruchu mobilnych robotów kołowych.....	23
2.1. Wstęp	23
2.2. Konwencja oznaczeń układów odniesienia i wektorów	23
2.3. Kinematyka mobilnych robotów kołowych	24
2.3.1. Wektor pozycji charakterystycznego punktu robota	24
2.3.2. Orientacja robota – kąty Eulera	25
2.3.3. Macierz rotacji i przekształcanie wektorów pozycji między układami odniesienia.....	26
2.3.4. Parametry kątowe ruchu bryły	28
2.3.5. Wektory prędkości liniowej i przyspieszenia liniowego punktów robota	30
2.3.6. Parametry ruchu w parach kinematycznych	32
2.3.7. Metoda Kane’a opisu kinematyki	32
2.3.8. Zadanie proste kinematyki.....	33
2.3.9. Zadanie odwrotne kinematyki.....	33
2.4. Dynamika mobilnych robotów kołowych.....	34
2.4.1. Konwencja oznaczeń sił i momentów sił	34
2.4.2. Stosowane metody tworzenia modeli dynamiki mobilnych robotów kołowych	34
2.4.2.1. Równania Newtona-Eulera	35
2.4.2.2. Równania Lagrange’a II rodzaju z mnożnikami i formalizmy pochodne	36
2.4.2.2.1. Równania Lagrange’a II rodzaju z mnożnikami	36
2.4.2.2.2. Równania Maggiego	38
2.4.2.2.3. Równania Apella.....	38
2.4.2.2.4. Inne formalizmy wywodzące się z równań Lagrange’a II rodzaju z mnożnikami	39
2.4.2.3. Metoda Kane’a (forma Lagrange’a zasady d’Alemberta	39
2.4.2.4. Metoda układów wieloczłonowych.....	40

2.4.2.5. Alternatywne metody tworzenia modeli dynamiki mobilnych robotów kołowych	42
2.4.2.6. Porównanie metod tworzenia modeli dynamiki mobilnych robotów kołowych	42
2.4.3. Zadania dynamiki	43
2.4.3.1. Równania dynamiki	43
2.4.3.2. Zadanie proste dynamiki	44
2.4.3.3. Zadanie odwrotne dynamiki	45
2.4.4. Problemy związane z opracowywaniem modeli dynamiki	46
2.4.5. Modele dynamiki mobilnych robotów kołowych	48
2.4.6. Modele ogumienia stosowane w modelowaniu dynamiki pojazdów kołowych	49
2.4.7. Problematyka identyfikacji i analizy wrażliwości modelu dynamiki mobilnych robotów kołowych	52
3. Opracowana metodyka tworzenia modeli dynamiki mobilnych robotów kołowych	55
3.1. Model otoczenia	58
3.2. Model kontaktu opony z podłożem	60
3.3. Model opony	63
3.3.1. Poślizg wzdłużny i poprzeczny	63
3.3.2. Model opony H.B. Pacejki	68
3.3.3. Zbiór charakterystyk modelu opony	71
3.4. Model koła jezdnego	72
3.5. Model platformy mobilnej	74
3.6. Dynamiczne równania ruchu robota	75
3.7. Model tarcia w parach kinematycznych	76
3.8. Model napędów robota	77
3.8.1. Zadanie proste dynamiki napędów	78
3.8.2. Zadanie odwrotne dynamiki napędów	79
4. Opis ruchu mobilnych robotów kołowych	81
4.1. Obiekty badań	81
4.1.1. Robot trzykołowy	81
4.1.2. Robot czterokołowy	82
4.2. Przykłady opisu kinematyki mobilnych robotów kołowych	84
4.2.1. Współrzędne i prędkości uogólnione	84
4.2.2. Opis kinematyki robota trzykołowego	85
4.2.3. Opis kinematyki robota czterokołowego	87
4.2.4. Lokalizacja robota i wyznaczanie parametrów jego ruchu z zastosowaniem nawigacji bezwładnościowej	90
4.3. Przykłady opisu dynamiki mobilnych robotów kołowych	93

4.3.1. Opis dynamiki robota trzykołowego	93
4.3.2. Opis dynamiki robota czterokołowego	95
4.3.2.1. Model szczegółowy	96
4.3.2.2. Model uproszczony	100
5. Badania symulacyjne ruchu mobilnych robotów kołowych	109
5.1. Robot trzykołowy	109
5.1.1. Analiza ruchu wzdłużnego robota	109
5.1.2. Analiza robota w trakcie manewru zakręcania	116
5.1.3. Podsumowanie wyników badań symulacyjnych ruchu robota trzykołowego	124
5.2. Robot czterokołowy	125
5.2.1. Analiza ruchu wzdłużnego robota	126
5.2.1.1. Badania ruchu robota z napędem na tylne koła jezdne	127
5.2.1.2. Badania ruchu robota z hybrydowym układem jezdny	139
5.2.2. Analiza ruchu robota z hybrydowym układem jezdny w trakcie manewru zakręcania	148
5.2.3. Podsumowanie wyników badań symulacyjnych ruchu robota czterokołowego	161
6. Sterowanie ruchem mobilnych robotów kołowych	165
6.1. Planowanie ścieżki	165
6.2. Sterowanie ruchem nadążnym robota SCOUT	169
6.2.1. Regulator prędkości kół jezdnych	171
6.2.1.1. Regulator PD	171
6.2.1.2. Regulator adaptacyjny	172
6.2.1.3. Regulator odporny	175
6.2.2. Regulator prędkości platformy mobilnej	176
6.2.3. Regulator pozycji i kursu robota	179
6.3. Badania symulacyjne układów sterowania ruchem nadążnym robota SCOUT	181
6.3.1. Badania regulatora prędkości kół jezdnych	181
6.3.2. Badania regulatora prędkości platformy mobilnej	188
6.3.3. Badania regulatora pozycji i kursu robota	195
6.3.4. Podsumowanie wyników badań symulacyjnych układów sterowania ruchem nadążnym robota SCOUT	200
7. Badania empiryczne ruchu robota SCOUT	203
7.1. Środowisko badań empirycznych	203
7.2. Metodyka badań empirycznych	205
7.3. Badania w zakresie ruchu wzdłużnego robota	206
7.3.1. Badania ruchu robota z napędem na tylne koła jezdne	207
7.3.2. Badania ruchu robota z hybrydowym układem jezdny	212

7.4. Badania w zakresie ruchu obrotowego robota	219
7.5. Badania w zakresie ruchu wzdłużnego i manewru zakręcanie robota	226
7.6. Podsumowanie wyników badań empirycznych robota SCOUT	236
8. Podsumowanie, wnioski i kierunki dalszych badań	239
8.1. Podsumowanie i wnioski końcowe	239
8.2. Kierunki dalszych badań	241
Bibliografia	245