

Spis treści

Wykaz oznaczeń	11
1. Wstęp	15
2. Bezprzewodowe sieci ad hoc	21
2.1. Charakterystyka sieci ad hoc	21
2.2. Klasyfikacja sieci ad hoc	25
2.2.1. Bezprzewodowa sieć prywatna (WPAN)	26
2.2.2. Bezprzewodowa sieć sensorowa (WSN)	26
2.2.3. Bezprzewodowa sieć sensorów i elementów wykonawczych (WSAN)	27
2.2.4. Mobilna sieć ad hoc (MANET)	28
2.3. Projektowanie sieci ad hoc –problemy i ograniczenia	29
3. Bezprzewodowe sieci sensorowe	31
3.1. Charakterystyka i budowa sieci sensorowej	31
3.2. Architektura węzła sieci	33
3.2.1. Elementy sprzętowe węzła sieci	34
3.2.2. Oprogramowanie węzła sieci	36
3.3. Architektura sieci	38
3.4. Komunikacja w bezprzewodowych sieciach sensorowych	39
3.4.1. Bluetooth Low Energy	39
3.4.2. Bluetooth Mesh	41
3.4.3. LoRaWAN	42
3.4.4. LTE-M oraz NB-IoT	43
3.4.5. IEEE 802.15.4	44
3.4.6. ZigBee	46
3.4.7. WirelessHART	46
3.4.8. 6LoWPAN –IP w sieciach WSN	47

3.4.9.	Komunikacja wieloskokowa	50
3.4.10.	Techniki oszczędzania energii	51
3.5.	Klasyfikacja sieci sensorowych	54
3.6.	Sieci sensorowe w systemach Internetu rzeczy	58
3.7.	Zastosowania bezprzewodowych sieci sensorów	59
3.7.1.	Monitorowanie stanu konstrukcji	60
3.7.2.	Obserwacja zwierząt	60
3.7.3.	Sterowanie oświetleniem w tunelach	61
3.7.4.	Monitorowanie skażenia terenu	61
4.	Model sieci sensorowej	63
4.1.	Wprowadzenie	63
4.2.	Sieć sensorowa –system złożony	65
4.3.	Przestrzeń robocza sieci	69
4.4.	Model węzła sieci	70
5.	Modelowanie propagacji radiowej	77
5.1.	Podstawowe pojęcia i modele	77
5.1.1.	Modele fizyczne propagacji radiowej	79
5.1.2.	Modele probabilistyczne i statystyczne propagacji radiowej	80
5.1.3.	Modelowanie błędów	84
5.2.	Struktura połączeń i zasięg transmisji	87
5.2.1.	Struktura połączeń	87
5.2.2.	Wyznaczanie zasięgu transmisji radiowej	88
6.	Modelowanie ruchu węzłów sieci	91
6.1.	Klasyfikacja modeli ruchu	92
6.2.	Przegląd i przykłady modeli ruchu	93
6.2.1.	Indywidualne i grupowe modele ruchu	93
6.2.2.	Modelowanie ruchu sieci spójnej	97
7.	Modele symulacyjne i środowiska do symulacji sieci sensorowych	103
7.1.	Modele symulacyjne	103
7.1.1.	Budowa modeli symulacyjnych	103
7.2.	Techniki symulacyjne	105
7.3.	Symulatory sieci WSN i MANET	107
7.3.1.	ns-3	108
7.3.2.	NetSim	109
7.3.3.	Riverbed Modeler	109
7.3.4.	OMNeT++	109
7.3.5.	TOSSIM	110

7.3.6.	Cooja	111
7.3.7.	QualNet	111
7.3.8.	Symulacja sieci mobilnej	112
8.	Platformy sprzętowe	115
8.1.	TelosB	116
8.2.	Libelium Waspote	119
8.3.	Zolertia Z1	123
8.4.	Zolertia RE-Mote	125
8.5.	Open Mote B	127
8.6.	Texas Instruments SensorTag CC2650	129
8.7.	IoT-LAB M3	131
9.	Oprogramowanie	135
9.1.	Sieć sensorowa –system rozproszony	135
9.2.	Oprogramowanie węzła sieci	135
9.3.	Systemy operacyjne	136
9.3.1.	TinyOS	137
9.3.2.	Contiki-ng	138
9.3.3.	LiteOS	139
9.3.4.	Waspote IDE	139
9.3.5.	RIOT	140
9.4.	Zdalne programowanie węzłów	141
10.	Techniki grupowania węzłów	143
10.1.	Klasyfikacja algorytmów grupowania	144
10.2.	Przegląd algorytmów grupowania	149
10.2.1.	LCA	149
10.2.2.	RCC	150
10.2.3.	CLUBS	151
10.2.4.	ACE	151
10.2.5.	MOCA	152
10.2.6.	M-MD-C	153
10.2.7.	FLOC	153
10.2.8.	WCA	154
10.2.9.	GS ³	155
10.2.10.	GROUP	156
10.2.11.	HCC	158
10.2.12.	LEACH	159
10.2.13.	EEHC	160
10.2.14.	HEED	161
10.2.15.	DWEHC	161

10.2.16.EECS	163
10.2.17.AbC	163
10.3. Porównanie algorytmów grupowania	164
11. Sterowanie aktywnością węzłów	167
11.1. ASCENT	172
11.2. GAF	174
11.3. Span	177
11.4. SPIN	179
12. Sterowanie poziomem mocy nadawanego sygnału	181
12.1. Konstruowanie algorytmów sterowania poziomem mocy sygnału . . .	184
12.2. R&M	187
12.3. LMST	189
12.4. KNeigh	192
12.5. XTC	194
13. Trasowanie komunikacji	197
13.1. Klasyfikacja protokołów trasowania	197
13.2. Energooszczędne protokoły trasowania	200
13.2.1. DYMO	200
13.2.2. DSR	200
13.2.3. DSDV	201
13.2.4. RPL	202
14. Sterowanie dostępem do medium transmisyjnego	205
14.1. Protokoły MAC	207
14.1.1. ALOHA	207
14.1.2. CSMA	208
14.1.3. CSMA/CD	208
14.1.4. CSMA/CA	209
14.2. Energooszczędne protokoły MAC	210
14.2.1. Algorytmy usypiania modułów radiowych	210
14.2.2. LMAC	212
14.2.3. TRAMA	212
14.2.4. FLAMA	214
14.2.5. S-MAC	215
14.2.6. B-MAC	216
14.2.7. DMAC	217
14.2.8. Z-MAC	218
14.2.9. Protokół IEEE 802.15.4	219

14.3. Podsumowanie	222
15. Lokalizacja węzłów sieci sensorowej	225
15.1. Wprowadzenie	225
15.2. Rozkładanie czujników	226
15.2.1. Wymagania na sieci pomiarowe	227
15.2.2. Metody rozkładania czujników	229
15.2.3. Projektowanie mobilnej sieci monitorującej	233
15.3. Wyznaczanie pozycji czujników	237
15.3.1. Kryteria oceny algorytmów lokalizacji	239
15.3.2. Klasyfikacja metod i systemów lokalizacji	242
15.4. Metody lokalizacji węzłów w zasięgu radiowym	247
15.4.1. Triangulacja i metoda AoA	249
15.4.2. Trilateracja i metody ToA, TDoA i RSSI	251
15.4.3. Metody wykorzystujące tłumienie propagacyjne	255
15.5. Lokalizacja w sieciach rozległych	257
15.5.1. System APS	259
15.5.2. Techniki wykorzystujące środek ciężkości figur	261
15.5.3. Skalowanie wielowymiarowe	262
15.5.4. Optymalizacja liniowa i nieliniowa	267
15.5.5. Sprzętowe układy lokalizacji węzłów	275
Bibliografia	277
Skorowidz	289