

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 Waspmote	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. Waspmote 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. GS3	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