

Spis treści

Wstęp	XI
Wykaz najważniejszych skrótów	XIII
1. PODSTAWY RUCHU SZTUCZNEGO SATELITY ZIEMI PO ORBICIE OKOŁOZIEMSKIEJ	1
1.1. Sztuczny satelita Ziemi	1
1.1.1. Satelita nawigacyjny	2
1.1.2. Teoria ruchu satelity	2
1.1.3. Pierwsza prędkość kosmiczna	3
1.2. Ruch sztucznego satelity po orbicie okołoziemskiej	4
1.2.1. Prawa Keplera	4
1.2.2. Orbita satelity i jej elementy	7
1.2.3. Widzialność satelity	11
1.2.4. Trasa satelity na powierzchni Ziemi	16
1.3. Parametry położenia satelity i obserwatora w przestrzennym układzie współrzędnych prostokątnych	16
1.3.1. Ogólna charakterystyka przestrzennych układów współrzędnych prostokątnych	16
1.3.2. Określanie parametrów położenia i ruchu satelity na podstawie znajomości elementów jego orbity	17
1.3.3. Współrzędne prostokątne pozycji obserwatora w geocentrycznym układzie ziemskim	20
2. TEORETYCZNE PODSTAWY DZIAŁANIA NAWIGACYJNYCH SYSTEMÓW SATELITARNYCH	24
2.1. Określanie różnic odległości między pozycją obserwatora a kolejnymi pozycjami satelity	24
2.1.1. Wykorzystanie zjawiska Dopplera	26
2.1.2. Zasada scałkowanych pomiarów dopplerowskich	30
2.1.3. Wpływ refrakcji jonosferycznej	31
2.2. Określanie odległości dzielącej satelitę od użytkownika	32
2.2.1. Pomiar pseudoodległości dzielącej satelitę od użytkownika	32
2.2.2. Wpływ refrakcji jonosferycznej	33
2.2.3. Wpływ refrakcji troposferycznej	38

2.3.	Budowanie nawigacyjnych systemów satelitarnych i ich założenia	40
2.4.	Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych	42
2.4.1.	Segment kosmiczny	43
2.4.2.	Segment naziemny	48
2.4.3.	Segment użytkownika	50
2.4.4.	Częstotliwość fali nośnej	51
2.4.5.	Sposoby modulacji i kodowania sygnałów	53
2.4.6.	Interfejsy i formaty transmisji danych	55
2.5.	Parametry eksploatacyjne nawigacyjnych systemów satelitarnych	58
2.5.1.	Zasięg i niezawodność systemu	58
2.5.2.	Dokładność określanej pozycji użytkownika	59
2.5.3.	Dostępność i nasycenie systemu	60
2.5.4.	Zdolność systemu do ostrzegania o niewłaściwym funkcjonowaniu	61
2.5.5.	Opłaty za korzystanie z systemu	62
3.	OKREŚLANIE POZYCJI ZA POMOCĄ NAWIGACYJNYCH SYSTEMÓW SATELITARNYCH I JEJ DOKŁADNOŚCI	63
3.1.	Matematyczne podstawy określania współrzędnych pozycji i oceny jej dokładności	63
3.1.1.	Obliczanie współrzędnych pozycji	64
3.1.2.	Ocena dokładności określania pozycji	66
3.1.3.	Czynniki wpływające na dokładność pozycji użytkownika	73
3.2.	Geoida, elipsoida i układy odniesienia	75
3.2.1.	Geoida i elipsoida	75
3.2.2.	Układy odniesienia	78
3.3.	Pojęcie czasu, jego wzorce i skale	81
3.3.1.	Wzorce czasu i częstotliwości	83
3.3.2.	Definicja jednostki czasu	85
3.3.3.	Skale czasu	86
4.	SYSTEM GPS – SEGMENT KOSMICZNY I NAZIEMNY	93
4.1.	Budowanie systemu i jego założenia	93
4.2.	Segment kosmiczny – satelity systemu	98
4.2.1.	Parametry orbit, liczba i rozmieszczenie satelitów	98
4.2.2.	Budowa satelity	104
4.2.3.	Konstelacja satelitów i jej parametry	110
4.3.	Charakterystyka sygnałów emitowanych przez satelitę	112
4.3.1.	Częstotliwość nośna	113
4.3.2.	Modulacja sygnału	117
4.3.3.	Kodowanie sygnałów	121
4.3.4.	Depesza nawigacyjna	124
4.3.5.	Zniekształcenia i zakłócenia	133
4.4.	Segment naziemny	136
4.4.1.	Stacje śledzące	138
4.4.2.	Stacja główna	140
4.4.3.	Stacje korygujące	141

5. SYSTEM GPS – SEGMENT UŻYTKOWNIKA	143
5.1. Określanie pozycji użytkownika i jej dokładność	143
5.1.1. Pomiar pseudoodległości	143
5.1.2. Błędy pomiaru pseudoodległości, budżet błędów	145
5.1.3. Obliczanie współrzędnych satelity i użytkownika	151
5.1.4. Dokładność pozycji użytkownika	155
5.2. Charakterystyka ogólna odbiorników nawigacyjnych	157
5.2.1. Odbiorniki XX wieku	158
5.2.2. Zasada działania współczesnego odbiornika	159
5.2.3. Antena odbiorcza	161
5.2.4. Odbiorniki GPS w odbiornikach wielosystemowych	164
5.2.5. Podział odbiorników systemu GPS	165
5.3. Parametry techniczno-eksploatacyjne odbiorników	166
5.3.1. Parametry odbiorników stacjonarnych	166
5.3.2. Parametry odbiorników przenośnych	186
5.4. Kryteria i wymogi odnoszące się do odbiorników systemu GPS	190
5.4.1. Wymogi Międzynarodowej Organizacji Morskiej IMO	191
5.4.2. Wymogi Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej IEC	193
6. SYSTEM GPS – EKSPLOATACJA I PERSPEKTYWY ROZWOJU	195
6.1. Eksploatacja systemu	195
6.1.1. Wybrane parametry eksploatacyjne systemu	195
6.1.2. Zastosowanie systemu w różnych dziedzinach gospodarki i nauki	196
6.1.3. Ograniczenia eksploatacyjne systemu	198
6.1.4. Problemy eksploatacyjne odbiornika stacjonarnego	200
6.1.5. Problemy eksploatacyjne odbiornika przenośnego	200
6.1.6. Czas w systemie GPS i jego zliczanie	204
6.2. Perspektywy rozwoju systemu	207
6.2.1. Rozbudowa i modernizacja segmentu kosmicznego	207
6.2.2. Segment naziemny	209
6.2.3. Segment użytkownika, przewidywana dokładność pozycji	210
6.2.4. System GPS trzeciej generacji	212
6.2.5. Plany radionawigacji administracji amerykańskiej	214
7. SYSTEM GLONASS	216
7.1. Budowanie systemu	216
7.2. Segment kosmiczny	218
7.2.1. Parametry orbit, liczba i rozmieszczenie satelitów	218
7.2.2. Budowa satelity	222
7.2.3. Częstotliwość nośna	224
7.2.4. Depesza nawigacyjna	227
7.3. Segment naziemny	231
7.4. Określanie pozycji	233
7.5. Stan obecny systemu i perspektywy na przyszłość	234

8. ODMIANY RÓŻNICOWE NAWIGACYJNYCH SYSTEMÓW SATELITAR- NYCH	237
8.1. Ogólna koncepcja odmiany różnicowej	237
8.1.1. Funkcjonowanie systemu satelitarnego w odmianie różnicowej	237
8.1.2. Metody określania poprawek różnicowych i ich przesyłania użytkownikom	238
8.1.3. Określanie pozycji użytkownika i jej błąd	240
8.2. Odmiana różnicowa systemu GPS – DGPS	241
8.2.1. Zasada odmiany różnicowej	242
8.2.2. Budowanie odmiany różnicowej dla użytkownika morskiego	244
8.2.3. Wykorzystanie odmiany różnicowej w nawigacji morskiej	247
8.2.4. Format transmisji danych RTCM SC-104	250
8.2.5. Odbiorniki nawigacyjne	255
8.2.6. Wymagania ITU i IMO	261
8.2.7. Sieciowe wersje odmiany różnicowej	262
8.2.8. Komercyjne wersje odmiany różnicowej	268
8.2.9. Współpraca odbiornika DGPS z innymi urządzeniami	270
8.2.10. Zalety i wady systemu odmiany różnicowej	270
8.3. Odmiana różnicowa systemu GLONASS – DGLONASS	272
8.4. Satelitarne systemy wspomagające	273
8.4.1. System WAAS	277
8.4.2. System EGNOS	278
8.4.3. System MSAS	283
8.4.4. System QZSS	283
8.4.5. System GAGAN	285
8.4.6. Odbiorniki systemów wspomagających	286
8.4.7. Porównanie systemów wspomagających	286
9. SYSTEM GALILEO	289
9.1. Budowanie systemu	289
9.2. Założenia systemu	294
9.2.1. Korzyści z wprowadzenia systemu na rynek	294
9.2.2. Przewidywana liczba użytkowników	296
9.3. Segment kosmiczny	297
9.3.1. Konstelacja satelitów i jej parametry	297
9.3.2. Budowa satelity	298
9.3.3. Budowanie segmentu kosmicznego	299
9.4. Charakterystyka sygnałów emitowanych przez satelity	300
9.4.1. Częstotliwość nośna i parametry sygnału	300
9.4.2. Depesza nawigacyjna	302
9.4.3. Skala czasu systemu Galileo	305
9.5. Segment naziemny	305
9.5.1. Działanie segmentu naziemnego	305
9.5.2. Liczba i rozmieszczenie stacji śledzących	307

9.6. Serwisy oferowane przez system Galileo	308
9.6.1. Serwis otwarty	309
9.6.2. Serwis komercyjny	310
9.6.3. Serwis bezpieczeństwa życia	310
9.6.4. Serwis kontrolowany publicznie	311
9.6.5. Serwis poszukiwania i ratownictwa	312
9.7. Perspektywy wykorzystania systemu w różnych dziedzinach gospodarki	313
9.7.1. Transport	313
9.7.2. Telekomunikacja	317
9.7.3. Finanse, bankowość i ubezpieczenia	317
9.7.4. Inne dziedziny gospodarki	318
9.8. Odbiorniki systemu Galileo	320
10. NAWIGACYJNE SYSTEMY SATELITARNE PRZYSZŁOŚCI	321
10.1. System Compass	321
10.2. System globalny GNSS	322
10.3. Analiza porównawcza systemów GPS, GLONASS, Galileo i Compass	325
10.4. Prognoza na lata dwudzieste trzeciego tysiąclecia	328
10.5. Perspektywy wykorzystania nawigacyjnych systemów satelitarnych w transporcie na świecie i w Polsce	328
Literatura	332
Skorowidz	336