Part Code ST1316
R G B WH GR BL Grey Scale #13 C M Y K
DANES-PICTA.COM
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ



WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
AKADEMII OBRONY NARODOWEJ

AON 5655/04



Piotr Daniluk

RADIOWE SYSTEMY ŁĄCZNOŚCI RUCHOMEJ

57688

WARSZAWA

Colour Chart #13
Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black
Inches Centimetres
DANES-PICTA.COM

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH
INSTYTUT ZARZĄDZANIA I DOWODZENIA

AON 5655/04

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Akademii Obrony Narodowej
Nr 57688

Piotr Daniluk

RADIOWE SYSTEMY ŁĄCZNOŚCI RUCHOMEJ

WARSZAWA 2004

Opracował:
Piotr Daniluk

Opracowanie i informacje w nim zawarte są przeznaczone na potrzeby kształcenia studentów studiów zaocznych Wydziału Wojsk Lądowych Akademii Obrony Narodowej.

Druk i oprawa: Akademia Obrony Narodowej – Wydział Wydawniczy, zam. nr 880/2004

SPIS TREŚCI

WSTĘP 5

Rozdział 1. Wprowadzenie do systemów radiokomunikacji ruchomej 8

1.1. Podział systemów radiokomunikacyjnych 8

1.2. Spektrum elektromagnetyczne wykorzystywane przez systemy radiokomunikacyjne 12

Rozdział 2. Systemy telefonii bezprzewodowej 14

2.1. Generacja CT-0 (ang. Cordless Telephony) 15

2.2. Standard CT-1 (ang. Cordless Telephony 1) 16

2.3. Standard CT-2 (ang. Cordless Telephony 2) 19

2.4. Standard CT-3 (ang. Cordless Telephony 3) 21

2.5. Standard DECT (ang. Digital European Cordless Telephony) 22

2.6. Porównanie standardów DECT i CT 2 27

2.7. Wykorzystanie telefonii bezprzewodowej standardu DECT i CT 2 27

2.8. Porównanie różnych generacji telefonii bezprzewodowych 33

Rozdział 3. Systemy trankingowe 35

3.1. Systemy dyspozytorskie 35

3.2. Podstawowe założenia łączności trankingowej 38

3.3. Klasyfikacja systemów trankingowych 41

3.4. System TETRA (ang. Trans-European Trunked Radio) 43

3.5. System EDACS (ang. Enhanced Digital Communication System) 47

Rozdział 4. Systemy telefonii komórkowej pierwszej generacji 49

4.1. Ogólne założenia telefonii komórkowej 49

4.2. Charakterystyka wybranych systemów telefonii komórkowej pierwszej generacji 52

4.2.1. System IMTS (ang. Improved Mobile Telephone Service) 52

4.2.2. System AMPS (ang. Advanced Mobile Phone System) 52

4.2.3. System TACS (ang. Total Access Communication System) 54

4.2.4. System NMT (ang. Nordic Mobile Telephone) 55

Rozdział 5. Systemy telefonii komórkowej drugiej generacji 64

5.1. Rys historyczny GSM (ang. Global System of Mobile Communication) 64

5.2. Architektura systemu GSM 64

5.3. Procedury systemowe w GSM 74

5.4. Charakterystyka transmisji w kanale radiowym systemu GSM 78

5.5. Kanały fizyczne w GSM 79

5.6. Typy pakietów w GSM 81

5.7. Przetwarzanie sygnału w kanale cyfrowym w stacji przenośnej systemu GSM 84

5.8. Efektywne wykorzystanie potencjału radiowego w GSM 87

5.9. Zabezpieczenie w systemie GSM 90

5.10. Usługi realizowane w systemie GSM 91

5.10.1. Transmisja mowy 91

5.10.2. Transmisja danych 91

5.10.3. Przesyłanie krótkich wiadomości 95

5.10.4. Usługi dodatkowe 97

Rozdział 6. Systemy telefonii komórkowej trzeciej generacji 98
6.1. Rys historyczny UMTS (ang. Uniwersal Mobile Telecommunication System) 98
6.2. Założenia systemu UMTS 100
6.3. Architektura systemu UMTS 103
6.3.1. Podsystem stacji bzowych GSM 103
6.3.2. Sieć GERAN (ang. GSM EDGE Radio Access Network) 104
6.3.3. Sieć UTRAN (ang. UMTS Terrestrial Radio Access Network) 105
6.4. Usługi systemu UMTS 106
6.5. Rodzaje interfejsów radiowych w UMTS 108
6.5.1. Interfejs radiowy typu WB-CDMA (ang. WideBand Code Division Multiple Access) 108
6.5.2. Interfejs radiowy typu TD-CDMA (ang. Time Division CDMA) 109
Rozdział 7. Systemy łączności z wykorzystaniem satelitów 111
7.1. Ogólne zasady łączności z wykorzystaniem sztucznych satelitów 111
7.2. Podstawowe parametry orbitalne satelitarnej łączności radiowej 112
7.3. Kryterium podziału ruchomych systemów telekomunikacji satelitarnej 113
7.4. Satelity telekomunikacyjne wyodrębnione ze względu na wysokość orbity 114
7.5. Radiokomunikacja satelitarna pierwszej generacji 116
7.6. Radiokomunikacja satelitarna drugiej generacji 121
7.7. Radiokomunikacja satelitarna trzeciej generacji 123
7.7.1. Systemy niskoorbitowe 125
7.7.2. Systemy średnioorbitowe 131
7.7.3. Systemy geostacjonarne jako satelitarne systemy telefonii komórkowej 133
7.8. Możliwości urządzeń wojskowego radiodostępu satelitarnego 135
7.9. Zakresy częstotliwości wykorzystywane przez satelity radiokomunikacji ruchomej 136
ZAKOŃCZENIE 137
BIBLIOGRAFIA 138
Załącznik Wykaz wykorzystania częstotliwości w zakresie fal radiowych powyżej 30 MHz 140

WSTĘP

Jako abonenci wielu systemów telekomunikacyjnych odczuwamy w ostatnich latach niebywały rozwój różnorodnych usług świadczonych, między innymi, przez sieci radiowe. Bezpośrednim powodem takiego stanu rzeczy jest wielki postęp jaki dokonał się i dokonuje w dziedzinie nowoczesnych technologii komunikacji.

Jako osoba doświadczona słuchaniem radia Luksemburg na fali „208", rozgłośni harcerskiej czy programu III Polskiego Radia na falach krótkich doznaję, sądzę, podobnie jak wielu innych ludzi, olśnienia i zachłyśnięcia możliwościami oferowanymi przez operatorów oraz producentów najnowocześniejszych systemów telekomunikacyjnych.

W chwili kończenia pisania niniejszej książki właśnie dostępna stała się usługa oglądania i słuchania w telefonie komórkowym serwisów informacyjnych Telewizji Polskiej. Od roku można nie tylko przesyłać obrazy, ale nawet krótkie filmy zrobione kamerą zamontowaną w tymże telefonie komórkowym. Od ponad dwóch lat można korzystać z nowoczesnych telefonów globalnych, które w przypadku utraty łączności w sieci komórkowej mogą inicjować połączenie satelitarne.

W tym codziennym atakowaniu nas abonentów zmasowaną dawką multimedialnych usług zaczyna coraz bardziej uwidaczniać się zjawisko niebywałej presji otoczenia związanej z pogonią za tym co nowsze, szybsze i wielofunkcyjne. Generuje to coraz większe wymagania w stosunku do abonentów tych systemów. Przede wszystkim my, jako uczestnicy społeczeństwa informacyjnego, musimy uczyć się korzystania coraz szybciej z coraz to nowych, bardziej złożonych i zintegrowanych usług. Wiele tych usług jest nam bezwzględnie potrzebna i pomaga w codziennym życiu. Ale też mamy do czynienia z nowym, i potęgującym się zjawiskiem oferowania usług, tylko dlatego, że są one nowocześniejsze od dotychczasowych.

Dlatego też, edukacja w obszarze teleinformatyki, wśród wielu zadań zapewne znanych nam wszystkim, zaczyna realizować zupełnie nowe. Tym nowym wyzwaniem jest ukształtowanie takiej świadomości w dziedzinie nowoczesnych środków komunikacji, aby nie tylko rozumieć podstawowe procesy zachodzące wokół nas, a w konsekwencji umiejętnie z nich korzystać, ale też świadomie dokonywać wyboru usług, których wachlarz stale jest powiększany.

Cel postawiony przed napisaniem niniejszego opracowania wydawał się prosty – przedstawić w formie bardzo skompresowanej niezbędną dawkę informacji dotyczących nowoczesnych systemów komunikacji bezprzewodowej językiem zrozumiałym dla najszerszej rzeszy odbiorców.

Jednak w trakcie zbierania materiałów, jak i już pisania, okazało się to bardzo trudne, a spowodowane było licznymi wyborami, przed jakimi musiał stanąć autor. Wybory te dotyczyły dobrania najważniejszych informacji dotyczących obszaru radiokomunikacji ruchomej z pośród kilkunastu pozycji książkowych oraz wielu materiałów rozproszonych. W zawiązku z tym dokonano wielu uogólnień i uproszczeń. Nie jest to więc opracowanie szczegółowo traktujące poruszone dziedziny ruchomej łączności radiowej, lecz generalizujące, zmierzające w swym celu do pokazania coraz większej integracji poszczególnych podsystemów. Takim obszarem docelowym, który pokazuje nie tylko złożoność, ale niespotykaną dotychczas integrację usług jest właśnie UMTS. Obejmuje on swoim zasięgiem funkcjonalnym wszystkie dotychczas stosowane rodzaje łączności radiowej – telefonię bezprzewodową, trankingową, komórkową, pętle abonenckie, sieci komputerowe i łączność satelitarną.

Takiemu też postrzeganiu procesu integracji podsystemów radiowych została podporządkowana struktura niniejszego opracowania.

W rozdziale pierwszym dokonano ogólnego uporządkowania określeń związanych z systemami i sieciami radiokomunikacyjnymi. Określono między innymi miejsce systemów radiokomunikacyjnych w telekomunikacji.

W rozdziale drugim omówiono generacje telefonii bezprzewodowej. Zwrócono w tym miejscu uwagę na techniki i usługi, które dały początek innym systemom, np. telefonii komórkowej. Szczególnie poszerzono omówienie systemów DECT i CT 2.

W rozdziale trzecim dokonano krótkiej analizy systemów radiotelefonicznych, przede wszystkim, typu trankingowego. Spełniają one w dalszym ciągu istotną funkcję w służbach użytku publicznego, zapewniając łączność niezależną od systemów ogólnodostępnych. Najwięcej miejsca poświęcono systemowi TETRA, nad którym trwają bardzo intensywne prace wdrożeniowe, szczególnie w policji i służbach ratowniczych.

W rozdziale czwartym przedstawiono zasady funkcjonowania odchodzących pomału w zapomnienie systemów analogowej łączności komórkowej. Autor uznał za istotne omówienie podstawowych standardów tej generacji telefonii komórkowej ze względu na szereg usług i procedur, które stały się podstawą tworzenia nowocześniejszych systemów radiokomunikacji ruchomej.

W rozdziale piątym dokonano charakterystyki najbardziej obecnie rozpowszechnionych cyfrowych systemów łączności komórkowej GSM. Zwrócono tutaj więcej uwagi na organizację kanału radiowego, jego strukturę oraz przetwarzanie sygnału w torze nadawczym i odbiorczym.

W następnym rozdziale poświęcono uwagę systemom telefonii komórkowej trzeciej generacji – zwanej UMTS. Przy omawianiu tych systemów odwołano się w znacznej części do systemów GSM oraz łączności satelitarnej, gdyż mają one stanowić bardzo istotne podsystemy pozwalające ewolucyjnie wdrażać nową generację łączności osobistej.

W ostatnim rozdziale poświęcono miejsce radiowej łączności ruchomej wykorzystującej sztuczne satelity Ziemi. Dokonano tutaj szerokiego podziału systemów, skupiając uwagę na systemach typu IRIDIUM oraz GLOBALSTAR. Systemy te zapewne przeżywają tylko chwilowy kryzys, szczególnie finansowy, wynikający z przeorientowania nadrzędnych celów ich funkcjonowania (z wojskowo-komercyjnych na czysto komercyjne). Poruszono również problemy już funkcjonującej satelitarno-naziemnej telefonii komórkowej.

W wykazie literatury zawarto kilka podstawowych pozycji książkowych poruszających bardziej szczegółowo rozpatrywane obszary. Na uwagę zasługuje znacznie bogatszy wykaz artykułów z prasy telekomunikacyjnej, która przede wszystkim posiada jedną niezaprzeczalną zaletę. W dobie tak szybko rozwijających się systemów radiokomunikacyjnych, zapewnia największa aktualność prezentowanych informacji.

Rozdział 1.

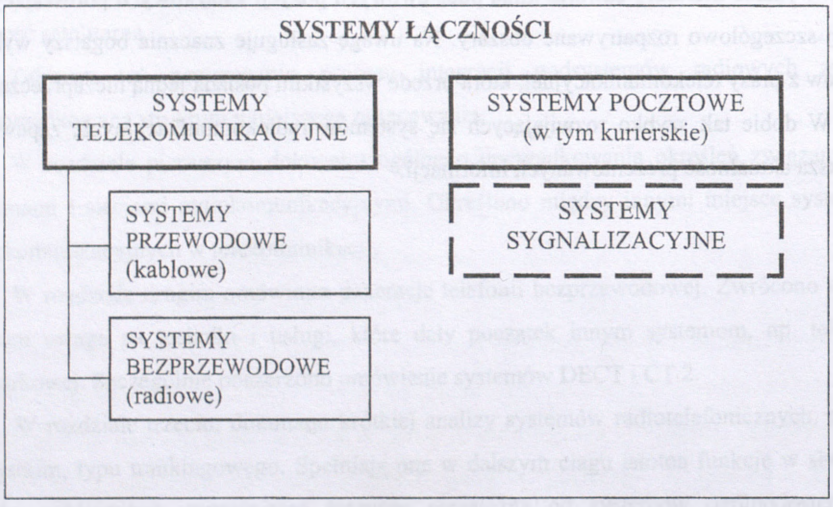
WPROWADZENIE DO SYSTEMÓW RADIOKUMIKACJI RUCHOMEJ

1.1. Podział systemów radiokomunikacyjnych

W dobie pełnej integracji usług i zamazywania się granicy pomiędzy poszczególnymi rodzajami łączności, coraz trudniejszym jest dokonywanie jasnego rozdziału systemów łączności.

Na potrzeby tematyki poruszonej w niniejszym opracowaniu, takiej próby jednak dokonano.

Pierwszym obszarem wymagającym wcześniejszego sprecyzowania jest gradacja systemów łączności. W niniejszym opracowaniu przyjęto, iż systemy radiokomunikacyjne funkcjonują w ramach systemów telekomunikacyjnych. System telekomunikacyjny z kolei jest jednym z podsystemów łączności, obok systemu pocztowego (kurierskiego).



Rys. 1.1. Ogólny podział systemów łączności

Źródło: opracowanie własne

Systemy telekomunikacyjne można podzielić, stosując przyjęte w tym opracowaniu kryterium rodzaju wykorzystywanego medium transmisyjnego, na radiowe (bezprzewodowe) i kablowe (zwane przewodowymi). Dyskusyjnym jest określanie wszystkich systemów bezprzewodowych - radiokomunikacyjnymi, ale w celu zgodności z przytaczaną literaturą w niniejszym opracowaniu, tak właśnie przyjęto.

Powyższy podział jest czysto teoretycznym, gdyż telefonia bezprzewodowa czy telefonia komórkowa GSM zwane w wielu źródłach systemami radiokomunikacyjnymi nie są systemami czysto radiokomunikacyjnymi. Wszakże systemy trankingowe, telefonii bezprzewodowej lub komórkowej w swojej architekturze oprócz elementów czysto „radiowych" zawierają sieć szkieletową, która opiera się na sieci kablowej (centrale, sterowniki stacji bazowych, węzły pakietowe i cała siec kablowa spinająca te elementy).

Drugi istotny obszar problemowy wymagający wstępnych ustaleń dotyczy określenia pojęcia radiokomunikacji ruchomej, jakie często występuje w literaturze przedmiotu. Najczęściej systemy telekomunikacyjne (w tym radiokomunikacyjne) można podzielić, uwzględniając stopień ich mobilność, na:

- stacjonarne;
- mobilne (zwane również ruchomymi);
- hrybrydowe (stacjonarno-mobilne lub mobilno-stacjonarne w zależności od tego, która część dominuje w strukturze systemu).

Na podstawie literatury dotyczącej radiokomunikacji, szczególnie tej, która pojawiła się ostatnio, można wywnioskować, że pod pojęciem radiokomunikacji ruchomej rozumie się nie tylko część ruchomą, ale też stacjonarną (np. stacje bazowe).[1]

W niniejszym opracowaniu przyjęto więc, że o rodzaju systemu lub sieci decyduje rodzaj styku, którym w pierwszej kolejności komunikuje się abonent ze swojego terminala.

Trzeci aspekt z obszaru definicyjnego, to pojęcie sieci i systemu. W literaturze dotyczącej radiokomunikacji istnieje swoisty chaos, gdzie np. sieć GSM zawiera w sobie system GSM. Oczywiście, bezpośrednim podwodem takie stanu rzeczy jest nieumiejętne tłumaczenie przede wszystkim angielskojęzycznych źródeł, na które autorzy ich się powołują. A chyba sedno takiego stanu rzeczy tkwi w subtelnej różnicy, w dwojakim rozumieniu słowa „system" w języku angielskim (nie tylko jako system – ale również jako sieć realizującą samodzielnie określone zadania). W niniejszym opracowaniu przyjęto, że system radiokomunikacyjny, przyjmując kryterium funkcjonalne, składa się z:

- podsystemu kierowania systemem (w tym zarządzania siecią);
- podsystemu struktury;
- podsystemu ludzkiego (osoby obsługujące system oraz abonenci systemu);

---

[1] W. Hołubowicz, Systemy telefonii bezprzewodowej, Poznań 1997;
K. Wesołowski, Systemy radiokomunikacji ruchomej, WKŁ, Warszawa 1998 ;
J. Kołakowski, J. Cichocki, UMTS – System telefonii komórkowej trzeciej generacji, WKŁ, Warszawa 2003.

- podsystemu technicznego, czyli sieci łączności.

Tak więc sieć łączności radiowej lub sieć radiokomunikacyjna posiada tylko charakter techniczny (wyposażeniowy). Składa się ona, przyjmując kryterium strukturalne – fizycznie z następujących elementów:

- linii łączności (radiowe, kablowe);
- węzłów łączności (stacje bazowe, sterowniki stacji, centrale, węzły pakietowe).

Można rozpatrywać inne kryteria strukturalne – np. według modelu OSI.

Z kolei sieć radiokomunikacyjną można podzielić na różne jej rodzaje. Takim podstawowym kryterium może być właśnie jej mobilność, tj.:

- radiokomunikacyjne sieci stacjonarne (tworzące stałe trakty radiowe długofalowe, średniofalowe, krótkofalowe i ultrakrótkofalowe);
- radiokomunikacyjne sieci mobilne (bezpośrednia łączność radiowa pomiędzy stacjami ruchomymi, lub pośrednia, gdzie stacją pośredniczącą jest również stacja ruchoma).
- radiokomunikacyjne sieci mieszane (łączność stacji ruchomych z bazowymi).

Dokonując podziału systemów radiokomunikacyjnych można uwzględnić kryterium zaproponowane w Regulaminie Radiokomunikacyjnym wydanym pod auspicjami Międzynarodowej Unii Radiokomunikacyjnej, gdzie wyodrębnia się:

- służby stałe – gdzie relacje łączności odbywają się pomiędzy stacjami stałymi;
- służby ruchome – gdzie relacje łączności odbywają się pomiędzy stacją stałą a stacją ruchomą lub pomiędzy stacjami ruchomymi.

Wśród służb ruchomych w wymienianym dokumencie, wyodrębnia się:

- służbę ruchomą lądową – organizowaną pomiędzy stacjami stałymi (bazowymi, dostępowymi) i ruchomymi lub pomiędzy ruchomymi funkcjonującymi na lądzie jako przenośne i pokładowe;
- służbę ruchomą morską – organizowaną pomiędzy stacjami stałymi (brzegowymi) oraz ruchomymi (na statkach) lub pomiędzy ruchomymi (tylko morskimi lub morskimi i lotniczymi). Stacje z innych służb wchodzące w te relacje stają się automatycznie częścią służby morskiej
- służbę ruchomą lotniczą – organizowaną pomiędzy stacjami stałymi (lotniskowymi, bazowymi) a ruchomymi (na statkach powietrznych) lub pomiędzy ruchomymi (w tym lotniczymi i morskimi). Stacje innych służb wchodzące w te relacje stają się częścią służby lotniczej.

Niestety autor niniejszego opracowaniu znów musi dokonać pewnych uproszczeń, i w celu zgodności z większością nielicznej literatury przedmiotu, przy określaniu radiokomunikacja ruchoma rozpatrywać tylko rodzaj komunikacji realizowanej przez stację abonenta.

Ostatnim kryterium uwzględnionym w tym opracowaniu i służącym do różnicowania radiokomunikacji ruchomej jest wykorzystywany przez sieć zakres (lub podzakres częstotliwości). Wtedy można mówić o następujących systemach radiokomunikacji ruchomej:

- średnio i krótkofalowej (zwanej również w uproszczeniu AM lub SSB);
- ultrakrótkofalowej (zwanej w uproszczeniu FM lub UKF).

Za stacje krótkofalowe potocznie uważa się urządzenia nadawczo-odbiorcze pracujące nie tylko w normatywnym zakresie 3 – 30 MHz, ale szerzej – od 1,625 kHz do 30 MHz lub nawet 1,5 MHz – 30 MHz (a więc również średniofalowym). Za urządzenia ultrakrótkofalowe uważa się takie, które pracują na częstotliwościach od 30 MHz.

Ze względu na rodzaj stosowanego terminala przez abonenta radiokomunikacyjnego, można wyodrębnić stacje:

- kieszonkowe (ang. poket), gdzie wymiary stacji pozwalają schować ją do kieszeni. Moc ich jest rzędu 1 W, co zapewnia zasięg bezpośredni do kilometra;
- ręczne (ang. handy), gdzie wymiary pozwalają utrzymać stację w ręku, moc rzędu ułamków wata lub kilku watów, zasięg bezpośredni kilka kilometrów;
- przenośne (portable), które są przenoszone w jednym ręku, pozwalają niekiedy pracować podczas przemieszczania, moc rzędu kilku watów do 20 W, zasięg bezpośredni do 5 – 8 kilometrów;
- pokładowe, które montowane są na pokładach pojazdów, statków morskich i powietrznych, które często po uzupełnieniu w odpowiedni system zasilania sieciowego mogą pracować z pomieszczeń. Moc tych stacji jest rzędu kilkunastu lub kilkudziesięciu watów, zasięg bezpośredni do kilkudziesięciu kilometrów (dla stacji KF nawet kilkaset kilometrów);
- stałe – montowane w budynkach i kontenerach. Moc tych stacji jest rzędu kilkudziesięciu, czasami kilkuset i więcej watów. Zasięg bezpośredni jest zależny od zakresu i rodzaju propagacji.

Reasumując, w niniejszym opracowaniu rozpatrywane będą systemy radiokomunikacyjne jako spojrzenie ze strony abonentów, którzy posiadają mobilny, tj. radiowy dostęp do innych systemów telekomunikacyjnych.

1.2. Spektrum elektromagnetyczne wykorzystywane przez systemy radiokomunikacyjne

Systemy radiokomunikacyjne wykorzystują zakres fal radiowych, który został podzielony przez ITU (ang. International Telecommuniaction Union) na dwanaście zakresów częstotliwości. W poniższym zestawieniu podano w kolejności: numer zakresu, zakres częstotliwości w Hz, kHz, MHz lub GHz oraz nazwa zakresu:[2]

1. 3 Hz - 30 Hz;
2. 30 Hz - 300 Hz;
3. 300 Hz - 3 kHz (fale ultradługie);
4. 3 kHz - 30 kHz (fale miriametrowe - bardzo długie);
5. 30 kHz - 300 kHz (fale kilometrowe - długie);
6. 300 kHz - 3000 kHz (fale hektametrowe - średnie);
7. 3 MHz - 30 MHz (fale dekametrowe - krótkie);
8. 30 MHz - 300 MHz (fale metrowe – bardzo krótkie);
9. 300 MHz - 3000 MHz (fale decymetrowe – ultrakrótkie);
10. 3 GHz - 30 GHz (fale centymetrowe – superkrótkie);
11. 30 GHz - 300 GHz (fale milimetrowe – ekstremalnie krótkie);
12. 300 GHz - 3000 GHz (fale decymilimetrowe).

Obecnie, praktycznie wykorzystywanym przez systemy radiokomunikacyjne jest zakres fal radiowych zawierający się od 9 Hz do 450 GHz. Zakres ten jest uwzględniany w wykazie przeznaczenia i wykorzystania częstotliwości przez poszczególne służby radiokomunikacyjne.

W pragmatyce spotyka się z wykorzystaniem uproszonego podziału fal, gdzie mówi się o następujących zakresach:

- fale długie – 30 kHz – 300 kHz (fale o długości 1 kilometr - 10 kilometrów);
- fale średnie – 300 kHz – 3 MHz (fale o długości 100 metrów – 1 kilometr);
- fale krótkie – 3 MHz – 30 MHz (fale o długości 10 metrów – 100 metrów);
- fale ultrakrótkie 30 MHz – 300 MHz (fale o długości 1 metr – 10 metrów).

Taki podział funkcjonował z powodzeniem do niedawna. Obecnie, gdy znakomita większość systemów radiokomunikacyjnych wykorzystuje zakres powyżej 30 MHz, taki podział staje się kłopotliwy.

---

[2] Artykuł 8, Regulamin radiokomunikacyjny, Genewa 1990

W wielu wydawnictwach z dziedziny radiokomunikacji dokonuje się po prostu podziału zakresu fal UKF na następujące podzakresy:

- VHF (ang. - very high frequency): 30 kHz - 300 kHz fale metrowe;
- UHF (ang. - ultra high frequency): 300 kHz - 3000 kHz fale decymetrowe;
- SHF (ang. - super high frequency): 3 GHz - 30 GHz fale centymetrowe;
- EHF (ang. - extremely high frequency): 30 GHz - 300 GHz fale milimetrowe.

Największe wykorzystanie w radiokomunikacji ruchomej posiadają zakresy radiowe powyżej 3 MHz (dokładniej od 1,625 MHz). Szczególnie intensywnie przez systemy radiokomunikacji ruchomej są eksploatowane podzakresy fal UKF (tj. VHF, UHF, SHF i EHF). Zjawiskiem charakterystycznym jest to, że wraz z rosnącą częstotliwością zwiększają się szerokości poszczególnych zakresów radiowych oraz zainteresowanie potencjalnych operatorów ich wykorzystaniem.

Podziału zakresów fal radiowych, a ostatnio jego korekty, dokonuje agenda ITU - Światowa Administracyjna Konferencja Radiowa (ang. World Administrative Radio Conference - WARC), który odbywa się co jakiś czas. Ostatnie ustalenia dotyczą konferencji z 2002 roku. Szczególnie intensywne prace tej agendy dotyczą najwyższych wartości częstotliwości, ale takich, których mogą być jeszcze z powodzeniem wykorzystanie do łączności naziemnej, tj. leżące poniżej okna satelitarnego, czyli poniżej 10 GHz – 15 GHz.

W systemach wąskopasmowych szczególnej eksploatacji podlegają podzakresy od 156 MHz – 1250 MHz, w szerokopasmowych sektorowych od 1700 MHz do 2500 MHz, w szerokopasmowych radioliniowych - wartości rzędu kilku do kilkunastu GHz. Zawężany jest systematycznie, z powodu coraz mniejszego zainteresowania, obszar zastosowania radiokomunikacji ruchomej w zakresie krótkofalowym. Systemy takie funkcjonują coraz częściej jako alternatywne dla systemów satelitarnych, wykorzystywane przede wszystkim przez służby morskie, lotnicze oraz wojsko. Systemy te funkcjonują najczęściej pasmowo (tzn. w wydzielonych podzakresach, tak zaplanowanych, aby zapewniać możliwość pracy w różnych porach doby i roku) w zakresie 1,625 kHz – 26,850 kHz. Poniżej zakresu krótkofalowego i średniofalowego bardzo nieliczne służby funkcjonują w ramach systemów radiokomunikacji ruchomej. Te nieliczne zastosowania obejmują szczątkowo łączność z jednostkami pływającymi oraz w zakresie bardzo małych częstotliwości radiowych – łączność wojskową.

W związku z celem niniejszego opracowania, uwaga zostanie skupiona na systemach radiokomunikacji ruchomej funkcjonujących na częstotliwościach powyżej 30 MHz.

Rozdział 2.

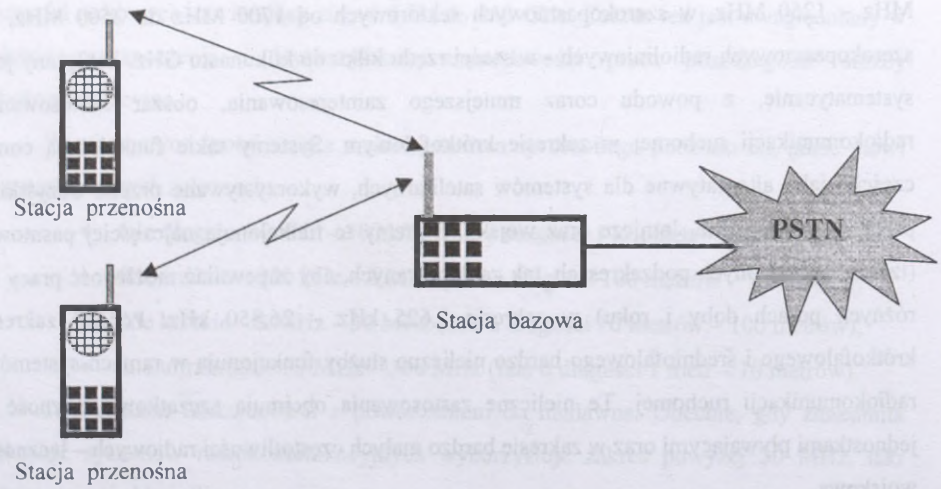
SYSTEMY TELEFONII BEZPRZEWODOWEJ

Jednym z zasadniczych rodzajów radiokomunikacji ruchomej jest telefonia bezprzewodowa. Pozwala ona na łączność z aparatu telefonicznego przenośnego (ręcznego) ze stacją bazową w celu połączenia się z siecią stałą użytku publicznego PSTN (ang. – Public Switched Telephony Network) lub z centralą abonencką.

Pod określeniem telefonia bezprzewodowa, nazywaną również skrótowo CT (ang. Cordless Telephony) rozumie się łączność:

- dupleksową telefoniczną;
- realizowaną z aparatu ręcznego do stacji stałej (bazowej);
- możliwą w niewielkiej odległości od stacji bazowej (w zasięgu rzędu kilkudziesięciu – kilkuset metrów);
- przy stosowaniu niewielkiej mocy nadajników – rzędu kilkudziesięciu mW;
- w zakresach do tego przeznaczonych lub ogólnodostępnych.

Na poniższym rysunku przedstawiono ogólną ideę funkcjonowania sieci telefonów bezprzewodowych.



Rys. 2.1. Schemat ogólnej struktury systemu telefonii bezprzewodowej
Źródło: opracowanie własne

W systemach telefonii bezprzewodowej można wyodrębnić następujące warianty funkcjonowania:

- jako pojedyncza komórka (najczęściej);
- pewna liczba niewielkich komórek (większe obszary pokrycia – np. miasto).

Systemy telefonii bezprzewodowej najczęściej były planowane do pracy:

- wewnątrz budynków (anteny bazowe zamontowane w samych urządzeniach bazowych);
- na zewnątrz budynków (anteny stacji bazowych montowane na zewnątrz pomieszczenia – np. na dachu budynku).

W niniejszym rozdziale omówione zostaną podstawowe, najbardziej rozpowszechnione systemy telefonii bezprzewodowej, wśród których uwzględniono:

- telefonię bezprzewodową nie objętą standardem;
- telefonię bezprzewodową pierwszej generacji;
- telefonia bezprzewodowa drugiej generacji;
- europejska bezprzewodową telefonię cyfrową.

Wspomniana będzie również trzecia generacja telefonii bezprzewodowej.

Wyodrębnione generacje różniły się możliwościami realizacji połączeń oraz obróbką sygnału (analogowe, cyfrowe o różnych możliwościach realizacji połączeń).

2.1. Generacja CT-0 (ang. Cordless Telephony)

Pierwsze zastosowanie telefonii bezprzewodowej opierało się na urządzeniach analogowych.

Najwcześniejsze rozwiązania telefonii bezprzewodowej zawierało się w takich obszarach, jak:

- proste układy urządzeń użytku domowego (stacja lub stacje przenośne oraz stacjonarne urządzenie nadawczo-odbiorczego posiadające z jednej strony styk radiowy, z drugiej podłączenie do stacjonarnej sieci telefonicznej);
- bezprzewodowe mikrofony (sygnały odbierane w odbiorniku radiowym, telewizyjnym);

Telefony bezprzewodowe charakteryzowały się następującymi cechami:[3]

- były urządzeniami niedrogimi;
- były bardzo popularne;
- zapewniały zasięg optyczny (domowy);
- jedyny koszt jaki generowały, wynikał z taryfikacji publicznej sieci stałej;

[3] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, Systemy łączności bezprzewodowej, Poznań 1997, s. 65

- były urządzeniami analogowymi;
- jako generacja CT 0, urządzenia nie były objęte standardem międzynarodowym;
- praca obywała się w kilku podzakresach - 1,6 MHz (podzakres 1715 – 1725 kHz przeznaczony był dla radiomikrofonów); 26, 41, 47 MHz;
- praca realizowana był w oparciu o odrębne protokoły radiowe w pasmach 1,6 MHz i 47 MHz w Wielkiej Brytanii, w pasmach 26 MHz i 41 MHz we Francji.

Struktura sieci telefonii analogowej umożliwiała łączność:

- między stacją ruchomą a stacją bazową;
- między kilkoma stacjami ruchomymi (taka funkcja była możliwa po przełączeniu pracy na czysto radiotelefoniczną pomiędzy stacjami ruchomymi lub stacją bazową a ruchomą).

Praca telefonów tej generacji powodowała wiele zakłóceń, a i samo ich funkcjonowanie było narażone na łatwy podsłuch. Niezbyt trudnym procesem było, po zeskanowaniu pasm wykorzystywanych przez te telefony i dostrojeniu się do wykorzystywanej częstotliwości, taryfikowanie rozmów telefonicznych na koszt abonenta.

W tabeli 2.1. przedstawiono pasma ogólnych zastosowań, które były wykorzystywane w telefonii bezprzewodowej pierwszej generacji, pod warunkiem przestrzegania wymaganych poziomów mocy wyjściowej torów nadawczych urządzeń (stacji przenośnej i stacji bazowej).

2.2. Standard CT-1 (ang. Cordless Telephony 1)

W 1984 roku kraje Europy Zachodniej przyjęły pierwszy standard telefonii bezprzewodowej. Miał on normalizować wykorzystanie analogowej telefonii bezprzewodowej.

Wśród wielu powodów powstania pierwszego europejskiego standardu telefonii bezprzewodowej CT-1 należy przede wszystkim wyliczyć:

- duże zainteresowanie nabywców usługami telefonii bezprzewodowej;
- pogłębiające się w terenach zurbanizowanych problemy kompatybilności elektromagnetycznej dla urządzeń, które nie były objęte standardami;
- w latach 80-tych poprzedniego wieku na wszystkich kontynentach rozpoczęcie bardzo intensywnych prac nad standardami telefonii bezprzewodowej;
- presja do większego przemieszczania, przy jednoczesnym wymogu utrzymywania stałej łączności – np. w obrębie firmy, biura, magazynu, dużego centrum handlowego lub komunikacyjnego;

- możliwości integracji wielu funkcji przez stosowanie technologii opartej na układach scalonych, a w konsekwencji pojawiająca się możliwość miniaturyzacji urządzeń;
- opanowanie w technologiach półprzewodnikowych tworzenia układów pracujących na coraz większych częstotliwościach.

Tab. 2.1. Zakresy częstotliwości przeznaczonych do ogólnego stosowania

Nr	Podzakres częstotliwości	Moc promieniowana lub natężenie pola elektromagnetycznego w odległości 10m	Szerokość kanału radiowego	Aktywność nadajnika
A	6,765 – 6,795 MHz	42 dBμA/m****		
B	13,553 – 13,567 MHz	42 dBμA/m****		
C	26,957 – 27,283 MHz	42 dBμA/m (10 mW)		
D	40,66 – 40,70 MHz	10 mW (e.r.p.)		
E	433,05 – 434,79 MHz	10 mW (e.r.p.)	25 kHz	
F	868,0 – 868,6 MHz**	25 mW (e.r.p.)	25 kHz***	mała
G	868,7 – 869,2 MHz	25 mW (e.r.p.)	25 kHz***	bardzo mała
H	869,3 – 869,4 MHz	10 mW (e.r.p.)	25 kHz	
I	869,4 – 869,65 MHz	500 mW (e.r.p.)	25 kHz*	duża
J	869,7 – 870, 0 MHz	5 mW (e.r.p.)	25/50 kHz*	bardzo duża
K	2400 – 2483,5 MHz	10 mW (e.i.r.p.)		
L	5725,0 – 5875,0 MHz	25 mW (e.i.r.p.)		
M	24,0 – 24,25 GHz	100 mW (e.i.r.p.)		
N	61,0 – 61,5 GHz	100 mW (e.i.r.p.)		
O	122 – 123 GHz	100 mW (e.i.r.p.)		
P	244 – 246 GHz	100 mW (e.i.r.p.)		

Legenda:

* - dopuszcza się wykorzystanie całego zakresu dla jednego kanału szybkiej transmisji danych

** - w zakresie poniżej 868,5 MHz należy stosować tylko urządzenia z automatycznym wyszukiwaniem wolnych kanałów

*** - dopuszcza się szerokopasmową transmisję danych (nadajnik o zmiennej częstotliwości) oraz pracę urządzeń z widmem rozproszonym o maksymalnym paśmie 100 kHz

**** - wytwarzające w odległości 10 m od urządzenia pole elektromagnetyczne o natężeniu składowej magnetycznej nie przekraczającej wartości 42 dBμA/m

Źródło: na podstawie: Wykaz częstotliwości wokół 1 kHz, Swiat Radio 8/1998

Wśród ogólny cech pierwszego standardu telefonii bezprzewodowej w Europie (standard CT 1):najczęściej wylicza się takie cechy, jak:

- oparcie systemu na wykorzystaniu analogowego dupleksu transmisji sygnału mowy;
- przydzielenie pasm o szerokości 1 MHz;
- wykorzystanie jako pierwszego pasma częstotliwości 914 MHz – 915 MHz;
- wykorzystanie jako drugiego pasma częstotliwości 959 MHz - 960 MHz;
- funkcjonowanie transmisji w oparciu o 40 kanałów z odstępem co 25 kHz.

System telefonii bezprzewodowej CT-1 posiadał trzy zasadnicze obszary zastosowania:

- tradycyjny, znany z generacji niezestandaryzowanej, łączność lokalna - domowa;
- tele-punkty (ang. tele-point) będące bezprzewodowym lokalnym dostępem do sieci stacjonarnej, stanowiące zapowiedź rychłego pojawienia się telefonii komórkowej;
- jako radiowe rozszerzenie możliwości małych central abonenckich.

Pokrótce zostaną przedstawione dwa nowe obszary zastosowania telefonii bezprzewodowej:

a) W obszarze tele-point;

Tego typu wykorzystanie telefonii bezprzewodowej spowodowały takie czynniki, jak:

- presja rozszerzenie usług domowych;
- potrzeba stworzenia tańszej alternatywy dla coraz popularniejszych telefonów GSM, choć bardzo wtedy jeszcze niefunkcjonalnych;
- rozwój marketów i rosnąca potrzeba wykorzystania prywatnych telefonów bezprzewodowych w miejscach publicznych;
- względy higieniczne, przyzwyczajenie abonentów, potrzeba większej prywatności i niezawodności niż w przypadku korzystania z publicznych aparatów wrzutowych;
- kłopoty z łącznością telefoniczną nie tylko przewodową, ale tez komórkową w środkach komunikacji miejskiej (w metrze) i w urzędach administracji państwowej;

b) W obszarze centralek abonenckich;

Potrzebę wykorzystania dostępu radiowego w centralach abonenckich spowodowały takie czynniki, jak:

- długi czas poświęcony na poszukiwania pracowników w firmie oraz poza nią;
- coraz pilniejsza potrzeba zapewnienia ruchomej łączności dla kierownictwa dla realizacji połączeń spoza firm;
- zbyt ograniczone możliwości systemów przywoławczych (mino ich dużego rozwoju);
- zbyt wysokie koszty okablowania całego biura czy firmy;
- zbyt wysokie koszty modyfikacji okablowania.

Mimo standaryzacji, CT 1 wykazywał wiele wad, które generowały następujące problemy:

- szczególnie istotne ograniczenie pierwszej generacji – przyporządkowanie przenośnego urządzenia do tylko jednej stacji bazowej;
- brak możliwości zmiany stacji bazowej (obszaru bazowego) dla tej samej stacji przenośnej (terminala, abonenta);
- brak możliwości nieprzerwanej pracy na większym obszarze;
- niska jakość sygnału dla stosowanej w standardzie modulacji analogowej;
- w dalszym ciągu zbyt znaczne rozmiary terminala przenośnego;
- potrzeba tworzenia tele-point z wielodostępem;
- potrzeba tworzenia interfejsu radiowego do coraz powszechniejszych central abonenckich o znacznej liczbie obsługiwanych terminali.

Standard telefonii bezprzewodowej CT 1 okazał się zawodnym. Bardzo istotnym było nie zapewnienie właściwego bezpieczeństwa prowadzonej rozmowy w telefonach tej generacji (telefonia analogowa FM lub AM). Zintensyfikowano więc prace nad ucyfrowieniem tego typu systemów. Tak stworzono podwaliny pod zupełnie cyfrową generację telefonii bezprzewodowej CT 2.

2.3. Standard CT 2 (ang. Cordless Telephony 2)

Opracowanie drugiej generacji standardu europejskiej telefonii bezprzewodowej opierało się na doświadczeniach i niespełnionych wymaganiach przez CT 1.

Za główny cel stojący przed systemem CT 2 określono spełnienie kompatybilności w ramach tego systemu dla urządzeń produkowanych przez różne firmy. W Europie oparto go na brytyjskiej normie Ministerstwa Poczty i Telekomunikacji MPT. Pozwoliło to na współprace telefonów przenośnych i stacji bazowych różnych producentów. Ze strony brytyjskiej zintensyfikowanie prac spowodowała wielka potrzeba rozwoju usługi tele-point.
Na ostateczny kształt standardu CT 2 miały duży wpływ takie okoliczności, jak:

- opracowanie standardu w Europie przez konsorcjum kilku firm brytyjskich;
- zatwierdzenie przez odpowiednie brytyjskie ministerstwa jako norma MPT 1375, gdzie przede wszystkim zdefiniowano wspólny interfejs radiowy;
- opracowanie na przełomie lat 80-tych (CT 2) i 90- tych (DECT) XX wieku, a więc w czasie raczkowania pierwszych analogowych systemów telefonii komórkowej;
- funkcjonowanie prawie równolegle standardu CT 2 wraz DECT;
- funkcje spełniane przez CT 2 były podobne do tych spełnianych przez ówczesne systemy telefonii komórkowej.

Standard CT 2 charakteryzował się następującymi parametrami i cechami:[4]

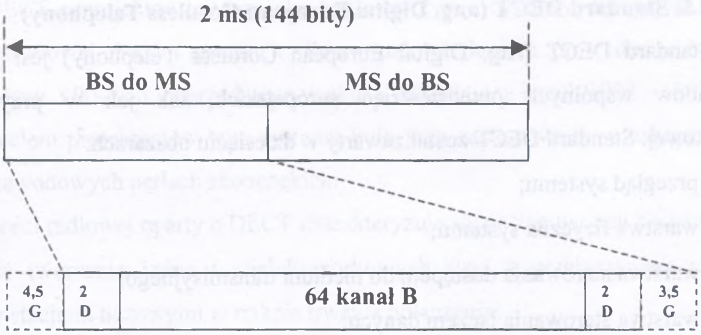
- stacja ruchoma mogła pracować jako domowa, biurowa lub publiczna. Może ona tylko inicjować rozmowę, nie może natomiast przyjmować połączenia;
- praca w paśmie częstotliwości 864 – 868 MHz (szerokość pasma 4 MHz);
- jeśli stacja spełniała wymagania interfejsu radiowego, istniała możliwość posiadania dostępu do sieci publicznej;
- realizacja wielodostępu w dziedzinie czasu i częstotliwości;
- praca na 40 kanałach częstotliwości o szerokości 100 kHz;
- na każdej częstotliwości funkcjonowała struktura ramkowa o długości 2 ms;
- każda taka ramka zawierała dwie szczeliny czasowe (rys. 2.2.);
- w każdym kanale częstotliwościowym były przesyłane dane z przepływnością 72 kbit/s (dwa sygnały 36 kbit/s, po jednym dla każdego kierunku transmisji);
- realizacja dupleksu był w dziedzinie czasu;
- liczba kanałów rozmównych była równa liczbie kanałów częstotliwościowych;
- stosowana był modulacja częstotliwości z ciągłą fazą GMSK (ang. Gaussian Minimum Shift Keying);
- moc toru nadawczego stacji przenośnej była rzędu 5 mW;
- kodowanie sygnału mowy było realizowane z przepływnością 32 kbit/s przy wykorzystaniu adaptacyjnej różnicowej modulacji impulsowo-kodowej ADPCM (ang. – Adaptive Diffirential Pulse Coded Modulation).
- opóźnienia związane z kodowaniem sygnału mowy były rzędu 5 ms.

Jednym z głównych celów postawionych dla standardu CT 2 było realizowanie usługi typu tele-point. Usługa ta w standardzie CT 2 charakteryzowała się następującymi cechami:

- z niewielkiej (taniej) stacji ruchomej istniał w centrach handlowych i komunikacyjnych dostęp radiowy do stacji bazowej, a dalej do sieci stacjonarnej;
- moc terminala ręcznego była rzędu 10 mW, co zapewniało zasięg kilkaset metrów;
- terminal ręczny miał zastępować telefoniczne aparaty wrzutowe;
- w systemie nie przewidziano realizacji rozmów adresowanych do stacji ruchomej, była tylko możliwa inicjacja rozmowy ze strony abonenta stacji ruchomej;[5]
- nie przewidziano przełączania połączenia do komórek sąsiednich (ang. handover).

[4] W. Hołubowicz, P . Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 68

[5] W CT 2+ była możliwa rejestracja terminali w systemie, co umożliwiło realizację rozmów przychodzących



G- przedział ochronny
D – kanał sterujący
BS – stacja bazowa,
MS – stacja ruchoma.

Rys. 2.2. Struktura ramki i szczeliny systemu CT 2
Źródło: Wesołowski, Systemy radiokomunikacji ruchomej, WKŁ, Warszawa 1998, s. 267

2.4. Standard CT 3 (ang. Cordless Telephony3)

Kolejnym, powstałym po CT 2, był standard CT 3. Stał się on bezpośrednim konkurentem europejskiego standardu DECT.

Standard CT 3 charakteryzowały następujące cechy:[6]

- funkcjonował jako system cyfrowej telefonii bezprzewodowej;
- nie posiadał wielu wad standardu CT 2;
- został zaprojektowany i wprowadzony przez firmę Ericsson;
- często tworzył bezprzewodowy dostęp do firmowych central telefonicznych;
- uwzględniał inicjowanie, ale też odbieranie połączenia z zewnątrz;
- oferował możliwość przenoszenia połączeń między komórkami (bazami);
- dostęp realizowany był w obszarze TDMA / FDMA;
- kanały rozmieszczone były co 1 MHz, po 8 kanałów dupleksowych w dziedzinie czasu;
- każda z 16 ramek trwała po 16 ms;
- każda komórka mieściła do 32 kanałów rozmównych;
- przewidziano dynamiczny przydział kanału, co powodowało pełne wykorzystanie szczelin czasowych w danej komórce;
- prywatność rozmów zapewniało zastosowanie kodera ADPCM;
- przez upowszechnienie się standardu DECT, CT 2 stracił w ogóle znaczenie.

[6] K. Wesołowski, Systemy radiokomunikacji ruchomej, WKŁ, Warszawa 1998, s. 267

2.5. Standard DECT (ang. Digital European Cordless Telephony)

Standard DECT (ang. Digital European Cordless Telephony) jest jednym z wielu przykładów wspólnych przedsięwzięć europejskich, tak jak w przypadku telefonii komórkowej. Standard DECT został zawarty w dziesięciu obszarach:[7]

- przegląd systemu;
- warstwa fizyczna systemu;
- warstwa sterowania dostępem do medium transmisyjnego;
- warstwa sterowania łączem danych;
- warstwa sieciowa;
- opis identyfikacji i adresowania;
- cechy związane z bezpieczeństwem;
- kodowanie mowy i transmisja;
- profil dostępu publicznego;
- algorytm kryptograficzny.

System telefonii oparty o DECT realizuje dostęp radiowy z terminali ręcznych w formie telefonów przenośnych do stacji bazowej, a poprzez nie do sieci stacjonarnej użytku publicznego. Struktura takiego systemu składa się z mikrokomórek o promieniu do kilkuset metrów. Stacje ruchome łączą się ze stacją bazową. Jedna lub wiele stacji bazowych jest połączonych z centrum sterowania, które z kolei jest dołączone do stałej sieci telefonicznej, sieci ISDN lub sieci telefonii komórkowej GSM 900 i 1800. Mogą występować małe sieci oparte o DECT bez dostępu do sieci stałej oraz bez stacji sterowania.

Zadaniem głównym systemów opartych o DECT jest obsługa obszarów o dużym zaludnieniu.

Na przestrzeni kilkunastu lat funkcjonowania takich systemów wyodrębniło się klika podstawowych jego zastosowań:

- w sieci domowego telefonu bezprzewodowego;
- w sieciach telefonicznych firm i biur;
- w sieciach bezprzewodowej centralki abonenckiej;
- w sieciach telepunkt;
- w sieciach bezprzewodowego dostępu do sieci LAN;
- uzupełnienie systemów telefonii komórkowej;
- w bezprzewodowej pętli abonenckiej.

[7] K. Wesołowski, ... op. cit., s. 268

Standard DECT zaprojektowany jest jako wielofunkcyjny, cyfrowy, europejski system telefonii bezprzewodowej drugiej generacji. Prace nad standardem prowadzone były na przełomie lat 80–tych i 90-tych poprzedniego wieku, a dokładnie w latach 1988 – 1992.

Głównym celem projektantów tego systemu było jego zastosowanie w usługach telepoint oraz bezprzewodowych pętlach abonenckich.

System łączności radiowej oparty o DECT charakteryzuje się następującymi cechami:[8]

- możliwość tworzenia jedno i wielokomórkowych sieci z przełączaniem rozmów pomiędzy stacjami bazowymi w trakcie trwania połączenia;
- stosowanie procedur identyfikacji użytkowników oraz szyfrowania przesyłanego sygnału mowy;
- funkcjonowanie styku umożliwiającego współpracę z innymi systemami telekomunikacyjnymi. Dzięki temu możliwe jest dogodne podłączenie abonentów DECT do telefonicznej publicznej sieci stałej, pakietowej sieci transmisji danych X.25 oraz za pośrednictwem własnych terminali realizowanie dostępu do usług ISDN;
- perspektywiczne realizowana jest integracja systemu opartych na DECT z systemem cyfrowej telefonii komórkowej GSM oraz UMTS;
- perspektywiczne również tworzony jest system hybrydowy, gdzie niektóre stacje bazowe GSM byłyby zastąpione przez stacje bazowe DECT (aparaty dwusystemowe).

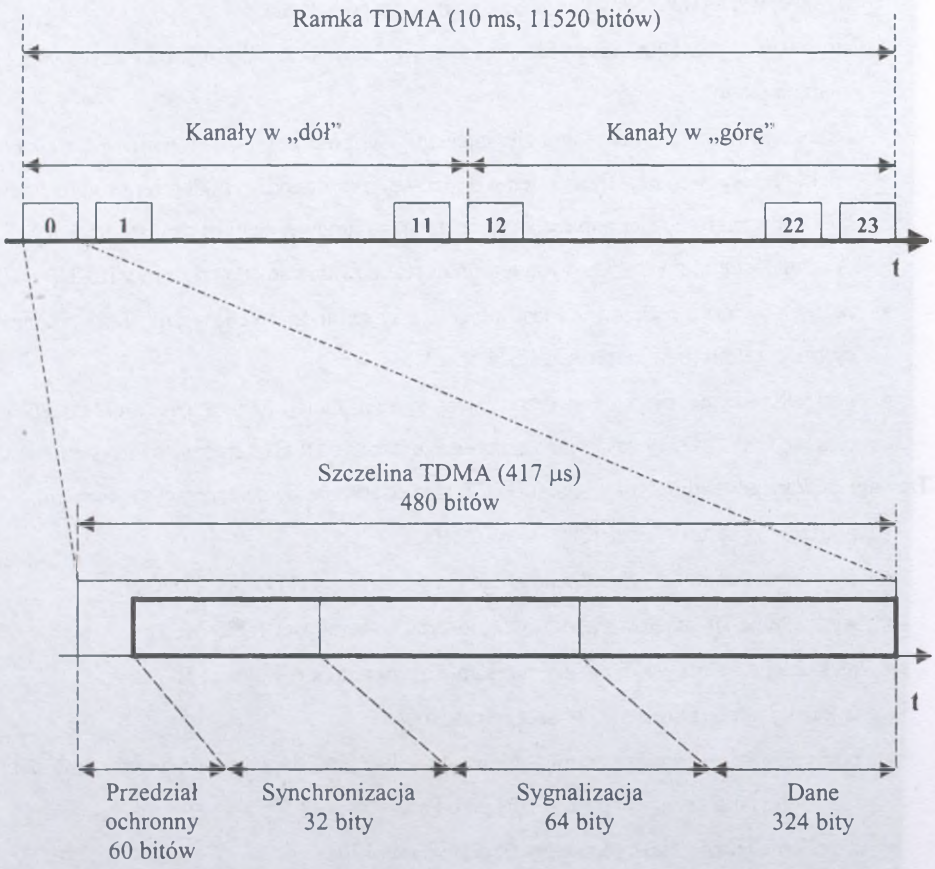
Transmisja w kanale radiowym systemu DECT charakteryzuje się następującymi cechami:

- podzakres częstotliwości 1880 – 1900 MHz;
- określenie kanałów w dziedzinie czasu i częstotliwości (FDMA / TDMA);
- wydzielenie 10 kanałów częstotliwościowych o szerokości 1,728 MHz;
- na każdej częstotliwości nośnej określenie ciągu ramek o długości 10 ms;
- w każdej ramce określenie 24 szczelin czasowych;
- pogrupowanie szczelin parami – tworząc 12 kanałów dupleksowych (szczeliny 0-11 określono jako kanały w górę, 12-23 jako kanały w dół);
- określenie łącznej liczby kanałów fizycznych na 120;
- w szczelinach czasowych kanału częstotliwościowego zdefiniowanie przesyłania pakietów danych po 420 bitów;
- określenie długość szczeliny czasowej na 417 μs (gdzie 365 μs jest przeznaczonych na sygnał, 52 μs na ochronę);

[8] W. Hołubowicz, P . Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 69

- odstęp ochronny określany jest liczbą bitów dodatkowych, jakie mogłyby być w nim przesłane (okres ochronny posiada 60 bitów);
- określenie dopuszczalnej szybkości poruszania się stacji ruchomej do 20 km/h, co determinuje wykorzystanie standardu w budynkach lub terenie otwartym z wykorzystaniem tylko terminali ręcznych.

Na poniższym rysunku przedstawiono strukturę ramki TDMA w systemie DECT



Rys. 2.3. Struktura ramki w standardzie DECT oraz jego pakietu w systemie

Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 70

Pakiet transmisji danych w systemie z DECT charakteryzuje się następującą strukturą:

- rozpoczyna się 32 bitową sekwencja synchronizacyjną;
- następuje 64 bitowe pole do przesyłania informacji sygnalizacyjnych i systemowych;
- kończy się 324 bitowym polem danych użytkownika.

. Pola danych użytkownika w kolejnych szczelinach czasowych oznaczonych tych samym numerem tworzą kanał logiczny.

Do pozostałych cech standardu DECT należą takie właściwości, jak:

- długość jednego bitu wynosi 868 ns, co odpowiada w pojedynczym kanale częstotliwościowym przepływności binarnej 1,152 Mbit/s;
- w typowym połączeniu wykorzystuje się 2 szczeliny czasowe, ale można przydzielić więcej, gdy wymagana jest większa przepływności danych;
- można też zestawić łącze niesymetryczne, gdy potrzeby obu stron łącza są różne;
- podobnie jak dla CT 2 – w DECT występuje kodowanie za pomocą modulacji adaptacyjnej ADPCM z przepływnością 32 kbit/s (jakość porównywalna z telefonią stacjonarną);
- łączne opóźnienie wprowadzane przez kodowanie sygnału mowy oraz przetwarzanie w kolejnych stopniach nadajnika wynosi 14 ms;
- zastosowanie modulacji GMSK (o współczynniku BT = 0,5);
- w wyniku zastosowania dupleksu częstotliwościowego, stacja bazowa i stacja przenośna wykorzystuje tylko jedną częstotliwość nośną – co pozwala na niskie poziomy interferencji międzykanałowych w sieci.

Funkcjonowanie standardu DECT oparto o zestaw jednej lub wielu stacji bazowych oraz ruchomych, gdzie:

a) **stacja bazowa** - podczas pracy prowadzi w sposób ciągły, w co najmniej jednym kanale, nadawanie dyfuzyjne informacji systemowych, sygnalizacji oraz sygnałów przywołania;

b) **stacja ruchoma** – realizuje poniższy proces funkcjonowania w systemie:

1. Zaraz po włączeniu dostraja się do częstotliwości najlepiej odbieranej stacji bazowej (najbliższej).
2. Prowadzi ciągły nasłuch radiowy.
3. Pomimo dostrojenia się do najsilniejszej stacji bazowej, dalej monitoruje dostępne pasmo w poszukiwaniu ewentualnych innych pobliskich stacji bazowych i porządkuje je w rejestrze według mocy sygnału odbieranego.

4. Po dostrojeniu się do wybranej stacji bazowej – terminal analogicznie dokonuje wyboru najmniej zakłóconego kanału fizycznego (określonego poprzez numer nośnej i szczeliny czasowej), w obrębie wybranej stacji bazowej.
5. Procedura wyszukiwania stacji oraz kanału radiowego jest cyklicznie powtarzana przez terminal.
6. Gdy terminal rozpozna swój sygnał przywoławczy wysłany przez stacje bazową, lub gdy sam ma do wysłania wiadomość, wysyła do najbliższej stacji bazowej żądanie przydziału wskazanego, wcześniej wybranego, kanału fizycznego.
7. Stacja bazowa pozwala na zestawienie połączenia w proponowanym przez terminal kanale po uprzednim sprawdzenia jego zajętości.

Jakość transmisji jest nadzorowana przez terminal ruchomy DECT w następujący sposób:

1. Jeśli stwierdzi on obniżenie jakości w kanale rozmównym – poszukuje nowego kanału.
2. Zgłasza do stacji bazowej pytanie o możliwość zajęcia nowego kanału lub przejścia do nowej stacji bazowej.
3. Po otrzymaniu pozwolenia od stacji bazowej, połączenie jest zestawianie w nowym kanale, a dotychczasowy zostaje zwalniany.

Metoda rozproszonego, dynamicznego, przydziału kanału radiowego w standardzie DECT polega na kilku podprocesach ze sobą ściśle powiązanych, jakimi są:

- ciągłe poszukiwanie przez terminal najsilniejszego sygnału stacji bazowej;
- ciągłe poszukiwanie kanału najmniej zakłócanego w relacjach radiowych od stacji bazowych;
- automatyczne przechodzenie terminala ruchomego na kanały najmniej zakłócane.

Dynamiczny przydział kanału radiowego pozwala na takie udogodnienia, jak:

- automatyczną minimalizację poziomu interferencji panujących w sieci;
- uniknięcie przyporządkowania na stałe poszczególnym stacjom bazowym podzbioru określonych kanałów częstotliwości (częstotliwości nośnych);
- działanie w pobliżu siebie różnych systemów eksploatowanych przez różnych operatorów i wykorzystujących standard DECT, bez konieczności wzajemnych wcześniejszych uzgodnień.

2.6. Porównanie standardów DECT i CT 2

Poniżej dokonano ogólnego porównania standardów telefonii bezprzewodowej DECT i CT 2 w kilku obszarach, tj.:

a) zakresu częstotliwości:

- standard CT 2 wykorzystuje pasmo 800 MHz;
- standard DECT wykorzystuje pasmo 1800-1900 MHz (w wielu krajach zakres ten przeznaczony jest do łączności osobistej);

b) rodzaju dostępu – wielodostęp czasowy i częstotliwościowy (dupleks w dziedzinie czasu). Stosowanie tego typu dostępu upraszcza budowę terminala (pracuje on tylko na jednej częstotliwości);

c) kodowania sygnału mowy – za pomocą kodu ADPCM 32 kbit/s. Pozwala to na wysoką jakość transmisji, uniknięcie złożonych układów koderów i dekoderów, ale też generuje niezbyt dużą wydajność wykorzystania pasma (jeden simpleksowy kanał rozmówny zajmuje 50 kHz w standardzie DECT). Powyższe niedogodności są jednak kompensowane przez niewielkie rozmiary komórek – do kilkuset metrów (systemy te obsługują duże natężenie ruchu, do ponad 10 000 abonentów / km^2 / piętro);

d) rodzaju modulacji - typu GMSK (QPSK), która pozwala na skuteczna walkę z zanikami i wielodrogowością sygnału. Pozwala ona również na formułowanie sygnału o stałej obwiedni;

e) mocy wyjściowych torów nadawczych rzędu 5 – 10 mW, stosowanych ze względu, na:

- małe obszary objęte mikrokomórkami;
- proste algorytmy obróbki sygnału.

W tabeli 2.2. dokonano zestawienia podstawowych parametrów DECT i CT 2.

2.7. Wykorzystanie telefonii bezprzewodowej standardu DECT i CT 2

Można wyodrębnić cztery podstawowe rodzaje zastosowań telefonii bezprzewodowej:

a) domowe systemy telefonii bezprzewodowej;
b) systemy publiczne typu tele-point;
c) bezprzewodowe centrale abonenckie;
d) bezprzewodowe pętle abonenckie.

Tab. 2.2. Porównanie systemów telefonii bezprzewodowej

Parametr	Jednostka	CT 2	DECT
Podzakres częstotliwości	MHz	864 – 868	1800 – 1900
Liczba kanałów częstotliwości		40	10
Odstęp między kanałami	kHz	100	1728
Rodzaj tworzenia dupleksu		czasowy	czasowy
Rodzaj wielodostępu		TDMA FDMA	TDMA FDMA
Liczba szczelin czasowych w jednym kanale częstotliwościowym		2	24
Liczba kanałów rozmównych		40	120
Szerokość pasma kanału rozmównego	kHz	2 x 30	2 x 72
Sposób przydziału kanału rozmównego		dynamiczny	dynamiczny
Zasięg komórki	m	100 – 1000	100 – 1000
Rodzaj stosowanej modulacji		GMSK	GMSK
Szybkość transmisji danych w jednym kanale częstotliwości	kbit/s	72	1152
Rodzaj kodowania sygnału mowy		ADPCM 32 kbit/s	ADPCM 32 kbit/s
Przepływność kanału sygnalizacyjnego	kbit/s	2	6,4
Moc wyjściowa toru nadawczego terminala	mW	5	10

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 74

Ad a) Domowe systemy telefonii bezprzewodowej pozwalają na prowadzenie lokalnych rozmów na odległość kilkudziesięciu metrów. Zestaw składa się ze stacji bazowej oraz terminala (terminali) ręcznych.

Ad b) System tele-point charakteryzuje się następującymi cechami:

- dostęp do stałej sieci publicznej poprzez przenośne terminale;
- po raz pierwszy zastosowane w Wielkiej Brytanii w latach 1989 - 1993 (CT 2);
- najczęściej wykorzystane w centrach handlowych, dworcach, lotniskach;
- najczęściej w usłudze można tylko inicjować połączenie, ale nie przyjmować przychodzących rozmów (to pozwala zwolnić system z śledzenia pozycji abonenta);
- mniejsza złożoność i koszt niż systemy GSM (śledzenie nie obciąża ruchu w sieci, tak jak w GSM).

W najbardziej złożonych systemach telefonii bezprzewodowej była możliwość przyjmowania rozmów przychodzących, ale po dokonaniu procedury rejestracji w obrębie konkretnej stacji bazowej (generowało to dodatkowe, oczywiście wyższe opłaty).

Ostatecznie standard CT 2 został wyparty przez DECT. Wśród zasadniczych czynników powodujących zanik systemów wykorzystujacych CT 2, wylicza się:

- stosunkowo wysokie ceny usług i terminali w porównaniu z GSM;
- rozwój sieci DCS 1800;
- niekompatybilność poszczególnych podsystemów telepoint;
- upowszechnienie innych systemów z poszerzoną oferta usług.

Większe szanse zastosowania w tele-point posiadał standard DECT. Zadecydowały o tym takie jego cechy, jak:

- możliwość przyjmowania rozmów przychodzących;
- możliwość przechodzenia z obszaru działania jednej stacji bazowej do drugiej;
- duża pojemność systemu;
- kompatybilność z innymi systemami telekomunikacyjnymi, np. GSM;
- wielofunkcyjność standardu;
- duża popularność systemu.

Ad c) Bezprzewodowe centrale abonenckie

Bezprzewodowy zamknięty system łączności jest przeznaczony do zastosowania na terenie biura, firmy. Składa się on z centrali abonenckiej WPBX (ang. Wireless Private Branch Exchange) jednej lub kilku stacji bazowych oraz terminali bezprzewodowych, gdzie:

- centrala WPBX jest sterownikiem całej sieci z terminalami;
- każda ze stacji bazowych realizuje łączność w jednej komórce.

Występują trzy podstawowe konfiguracje bezprzewodowych PBX (ang. Private Branch Exchange):

a) centrala całkowicie bezprzewodowa;
b) uzupełnienie już istniejącej centrali przewodowej o radiową;
c) architektura zintegrowana – w jednej obudowie obie części centrali.

Poszczególne warianty zostaną one poniżej pokrótce omówione.

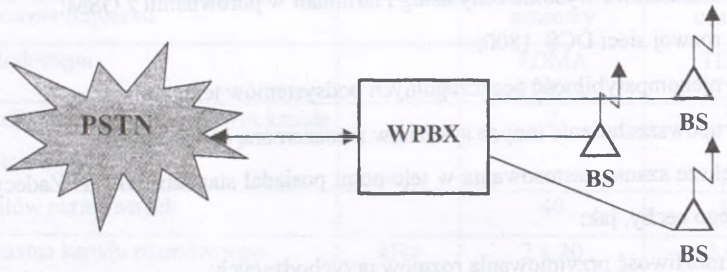
Ad a) centrala całkowicie bezprzewodowa

Struktura sieci abonenckiej tego typu oparta jest na funkcjonowaniu tylko centrali radiowej. Rozwiązanie wydawałoby się być na wskroś nowoczesne, ale też w pewnych

sytuacjach oparcie pracy na zainstalowaniu całkowicie nowej sieci, a często zrezygnowanie już z funkcjonującej, jest przedsięwzięciem kosztownym oraz czasochłonnym.

Istotną cechą rozwiązania złożonego z centrali i terminali bezprzewodowych jest to, że wszyscy maja stały dostęp do sieci (dla wychodzących i wchodzących połączeń).

Na poniższym rysunku przedstawiono ogólny schemat takiego rozwiązania.



Rys. 2.4. Schemat wariantu centrali abonenckiej opartej tylko na rozwiązaniu radiowym
Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 77

Do zalet takiego rozwiązania zalicza się, między innymi:

- łatwość instalacji i reinstalacji;
- zapewnienie pokrycia całej firmy;
- zapewnienie łączność przez cały czas dla wydzielonych abonentów.

Omawiane rozwiązanie jest determinowana złożonymi uwarunkowaniami takimi, jak:

- tylko niektórzy pracownicy są w ruchu i potrzebują takich terminali, podczas gdy pozostali równie dobrze mogą korzystać z telefonów stacjoanrnych;
- w większości firm istnieje już sieć stała i rozsądnym jest choć w części ją wykorzystywać;
- koszty wyposażenia wszystkich pracowników w terminale bezprzewodowe jest zbyt wysoki.

Istotną konkluzją płynącą z powyższego jest to, że zastąpienie klasycznej przewodowej centrali PBX przez centralę bezprzewodową jest stosunkowo drogie.

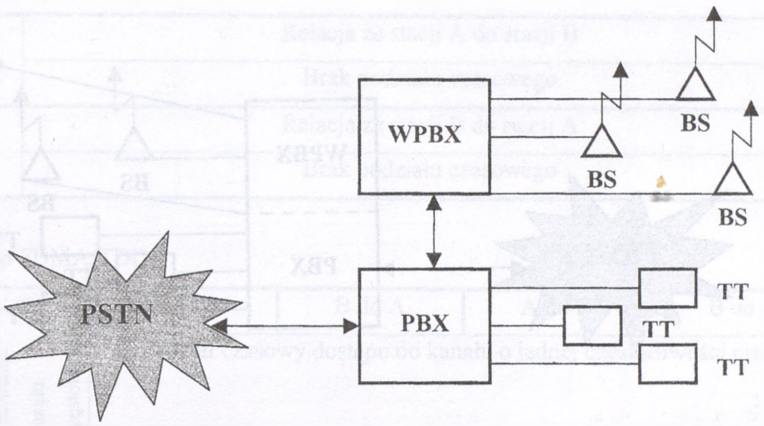
Ad b) rozszerzenie już istniejącej sieci stacjonarnej o oddzielną centralę radiową

Rozszerzenie już pracującej sieci stałej wewnętrznej z wyjściem do sieci publicznych o oddzielną wewnętrzną sieć radiową generuje dwie grupy abonentów:

- posiadających dostęp do sieci bezprzewodowej, dla których niezbędna jest łączność w każdym miejscu w momentach krytycznych;

- pozostali pracownicy korzystają z sieci stałej (posiadają takie same numery związane z miejscem, a nie z osobą).

Prezentowane rozwiązanie generuje dodatkowe koszty związane z doinstalacją części bezprzewodowej. Mimo to, jest to tańsze rozwiązanie od wariantów całkowicie bezprzewodowych. Może ono stanowić formę przejściową do zupełnie radiowego systemu. Na poniższym rysunku przedstawiono omawiane rozwiązanie.



Rys. 2.5. Schemat rozwiązania sieci firmowej opartej na oddzielnych podsieciach radiowej i kablowej. BS – stacja bazowa (radiowa), TT – aparat telefoniczny sieci przewodowej (kablowej)
Źródło: opracowanie własne na podstawi: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 77

Ad c) konfiguracja zintegrowana

Rozwiązaniem łączącym oba podsystemy – radiowy i przewodowy, jest zbudowanie centrali zintegrowanej, której funkcjonowanie polega na tym, iż sterownik bezprzewodowej części sieci znajduje się w jednym zespole (obudowie) z centralą PBX.

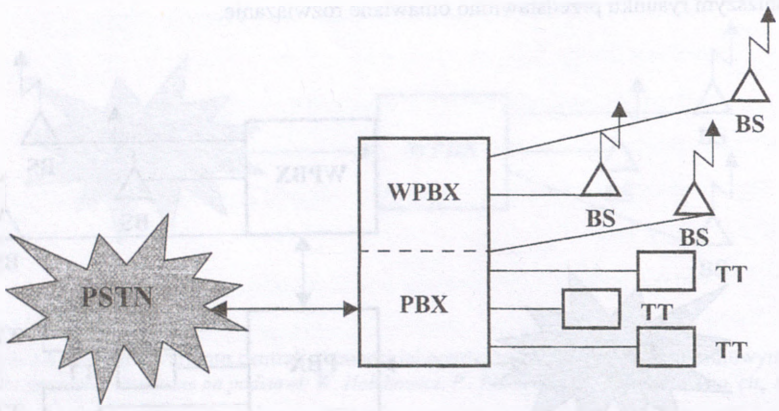
Nowoczesne centrale PBX posiadają możliwość rozszerzenia o karty „bezprzewodowe" (sterownik modułu bezprzewodowego) już funkcjonującej części kablowej.

Rozwiązanie takie posiada liczne zalety, którymi, między innymi są:

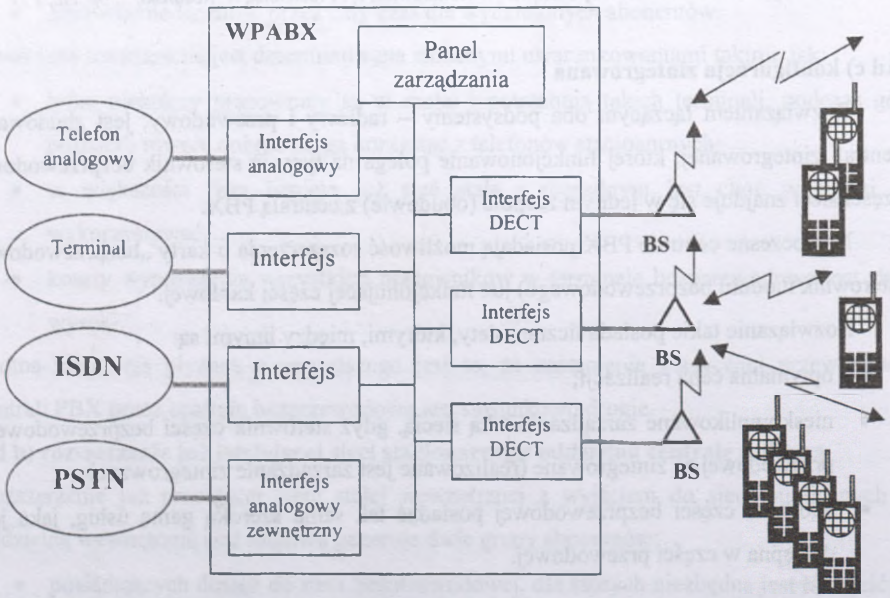
- optymalna cena realizacji;
- nieskomplikowane zarządzanie taką siecią, gdyż sterownik części bezprzewodowej i przewodowej są zintegrowane (realizowane jest zarządzanie zintegrowane);
- abonenci części bezprzewodowej posiadać tak samo szeroką gamę usług, jaka jest dostępna w części przewodowej.

Mimo dynamicznego rozwój sieci bezprzewodowych PBX, dyskusyjna staje się kwestia przyszłości tych systemów, gdyż poważnym konkurentem stają się usługi w sieciach telefonii komórkowej (pakiety usług i taryfikacji dla firm).

Poniżej przedstawiono schemat sieci opartej na zintegrowanej centrali W/PBX (rysunek 2.6.) oraz przykład konfiguracji systemu z bezprzewodową centralą abonencką (rysunek 2.7.)



Rys. 2.6. Schemat zintegrowanej sieci firmowej opartej na dostępie radiowo-przewodowym
Źródło: opracowanie własne na podstawi: W. Hołubowicz, P . Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 77

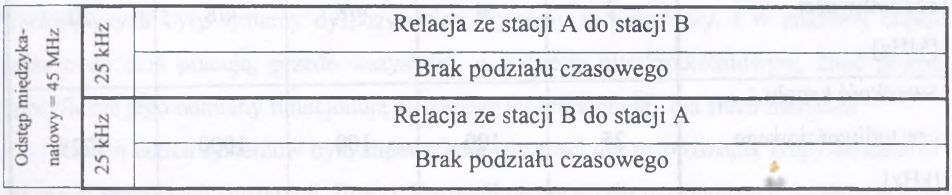


Rys. 2.7. Przykład konfiguracji systemu z bezprzewodową centralą abonencką
Źródło: opracowanie własne na podstawie: K. Wesołowski, ... op. cit., s. 269

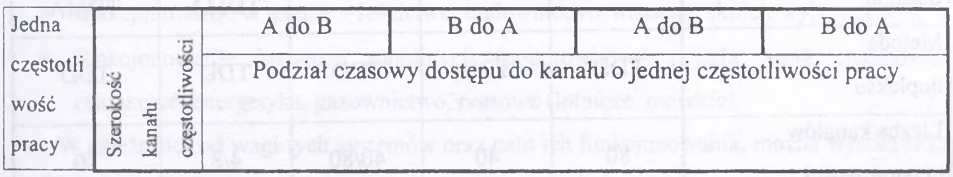
2.8. Porównanie różnych generacji telefonii bezprzewodowej

Porównanie dostępu do sieci telefonii bezprzewodowej dla różnych generacji urządzeń telefonii bezprzewodowej dokonano na poniższych schematach, natomiast w tabeli 2.3. porównano podstawowe parametry kilku najbardziej znanych w Europie standardów tego rodzaju telekomunikacji.

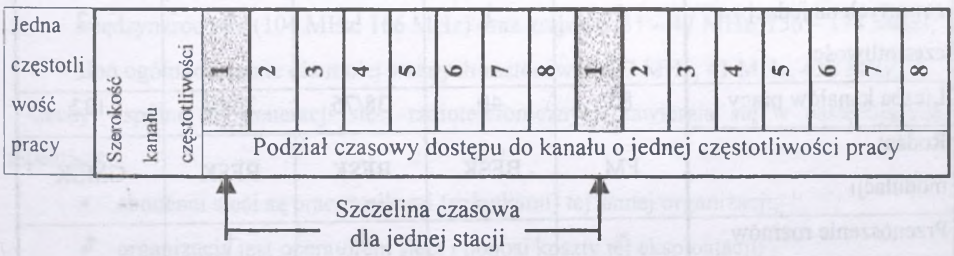
CT 1 (dostęp FDMA/FDD)



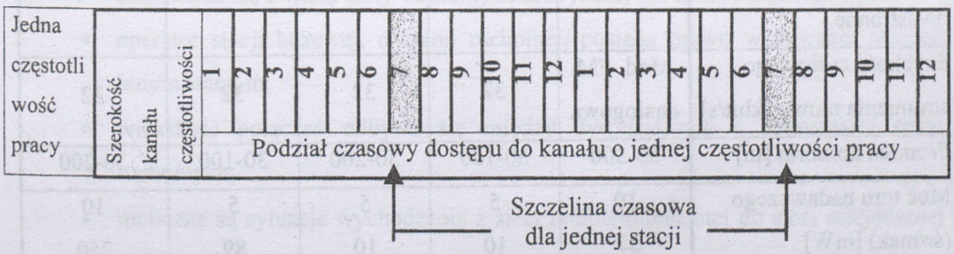
CT2 (dostęp FDMA/TDD)



CT 3 (dostęp TDMA/TDD)



DECT (dostęp TDMA/TDD)



Rys. 2.8. Porównanie podstawowych rodzajów dostępu w generacjach telefonii bezprzewodowej
Źródło: opracowanie własne na podstawie: K. Wesołowski, ... op. cit., s. 264

Tab. 2.3. Porównanie zasadniczych standardów telefonii bezprzewodowej

System	CT 1 plus	CT 2/ CAI	CT 2 plus	CT 3	DECT
Podzakres częstotliwości [MHz]	885-887 1) 930–932 2)	864 - 868	800 -1000	800-1000	1880 - 1900
Szerokość podzakresu częstotliwości [MHz]	2	4	4/8	4/8	20
Szerokość kanału częstotliwościowego [kHz]	25	100	100	1000	1728
Metoda dostępu	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA TDMA	FDMA TDMA
Metoda dupleksu	FDD	TDD	TDD	TDD	TDD
Liczba kanałów częstotliwości	80	40	40/80	4/8	10
Liczna kanałów pracy zawartych na jednej częstotliwości	1	1	1	8	12
Liczba kanałów pracy	80	40	38/76	32/64	132
Rodzaj modulacji	FM	BFSK	BFSK	BFSK	GMSK
Przenoszenie rozmów	-	-	+	+	+
Wywoływanie dwustronne	-	-	+	+	+
Szybkość cyfrowego strumienia mowy [kbit/s]	Mod. FM analogowa	32	32	32	32
Promień komórki [m]	50-300	30-100	30-200	30-100	30-200
Moc toru nadawczego (śr/max) [mW]	10 12	5 10	5 10	5 89	10 250

Legenda: 1) transmisja „w górę", 2) transmisja „ w dół"

Źródło: opracowanie własne na podstawie: K. Wesołowski, ... op. cit., s. 264

Rozdział 3.
SYSTEMY TRANKINGOWE

3.1. Systemy dyspozytorskie

Bezpośrednim poprzednikiem obecnie tak szybko rozwijających się systemów trankingowych były systemy dyspozytorskie. Systemy te pracowały, i w znacznej części jeszcze do dziś pracują, przede wszystkim, w zakresie ultrakrótkofalowym, choć pewne specyficzne jego odmiany funkcjonują w zakresie fal krótkich, np. dla służb morskich.

Celem takich systemów było zapewnienie łączności dla rozproszonej grupy abonentów tej samej organizacji (instytucji, firmy). Szczególnie dotyczyło to organizacji działających na dużym obszarze (powiatu, województwa, kilku województw), między innymi takich, jak:

- funkcjonowanie w terenie – leśnictwo, budownictwo, transport (kolejowy, drogowy);
- funkcjonowanie instytucji mobilnych (pogotowia) – policja, straż, pogotowie ratunkowe, energetyka, gazownictwo, portowe (lotnicze, morskie).

W zależności od wagi tych systemów oraz celu ich funkcjonowania, można wyodrębnić dwa podstawowe zasoby radiowe:

- albo specjalnie przydzielane (a więc i wnoszenie opłat za korzystanie) pasma międzynarodowe (104 MHz, 166 MHz) oraz krajowe (31 – 47 MHz, 156 – 174 MHz);
- albo ogólnodostępne dla mniej ważnych zastosowań (27 MHz, 41 MHz, 432 MHz).

Cechy wspólne tej generacji sieci radiotelefonicznych zawierają się w następujących aspektach:

- abonenci sieci są pracownikami (członkami) tej samej organizacji;
- organizacja jest operatorem sieci i ponosi koszty jej eksploatacji;
- sieć składa się z wielu stacji ruchomych oraz jednej lub kilku stacji bazowych;
- operator stacji bazowej, czasami ruchomej, posiada prawo wydawania poleceń innym stacjom;
- większość połączeń odbywa się między dyspozytorem a abonentami stacji ruchomych;
- nieliczne są sytuacje wychodzenia z sieci radiotelefonicznej do sieci stacjonarnej publicznej;
- połączenia trwają krótko;
- jakość łączności jest nienajlepsza, gdyż połączenia nie są taryfikowane.

W zakresie ultrakrótkofalowym stosowane są różne rodzaje pracy i emisji, między innymi:

a) radiotelefony mobilne (w pojazdach i przenośne) - F3E, L3E, K3E i A3E w obsłudze lotniskowej,
b) stacje bazowe w służbie radiokomunikacyjnej na fali o zasięgu horyzontowym - wszystkie rodzaje emisji.

Moce i zasięgi

Stacje przenośne w sieciach dyspozytorskich zapewniają następujące zasięgi ze stacją bazową, przy stosowaniu podanych mocy:

- dla mocy do 1 W - około 2 - 3 km,
- dla mocy 1 W - 10 W - około 2 - 8 km (szczególnie przy długich antenach - 1,5-2 m i niskich częstotliwościach pracy rzędu 30 - 66 MHz).

Stacje pokładowe (mobilne) charakteryzują się następującymi wartościami mocy wyjściowej torów nadawczych i zasięgami ze stacjami bazowymi:

- moc do 10 W dla 5 - 10 km ,
- moc rzędu 10 W - 30 W dla 8 - 35 km,
- moc rzędu 50 W - 80 W dla 30 - 65 km,
- moc rzędu kilkuset watów i więcej dla 100 - 120 km.

Znaczne moce torów nadawczych stacji były podyktowane potrzebą zapewnienia jak największych zasięgów łączności bezpośredniej, tj.:

- dla stacji przenośnych do 0,5 - 8 W (np. radiotelefony „ręczne"),
- dla stacji przewoźnych do 25 - 30 W (radiotelefony samochodowe),
- dla stacji bazowych 50 - 75 W.

Stosowanie tak znacznych mocy torów nadawczych stacji pokładowych i bazowych w systemach dyspozytorskich niosło oczekiwane jak i uboczne skutki, tj.:

- mogło być zaletą – w razie utraty łączności ze stacją bazową, istniała możliwość uzyskania połączenia bezpośredniego miedzy stacjami ruchomymi nawet do kilkudziesięciu kilometrów;
- mogło być wadą – gdyż istniało duże zagrożenie zakłóceń od innych stacji pracujących na podobnych kanałach, jak i z propagacją przez odbicie jonosferyczne. Znane były częste przypadki „wchodzenia" stacji czechosłowackich w sieci radiotelefonów pogotowia ratunkowego na obszarze Polski.

W omawianych systemach przede wszystkim były wykorzystywane najniższe częstotliwości fal ultrakrótkich, które zapewniały największe zasięgi, tj. podzakresy:

a) do niedawna wykorzystywane:

- 26 980 – 27 410 kHz (np. sieci w oparciu o stacje pokładowe „Żuraw");
- 33 MHz – 36 MHz;
- 36,5 MHz – 41 MHz;
- 41, 5 MHz – 47 MHz;
- 72 MHz – 86,5 MHz;

b) druga generacja sieci niezależnej pojawiła się w latach siedemdziesiątych i objęła nowe wyższe pasma, obecnie szeroko stosowane:

- 100 - 108 MHz (łączność obsługi lotnisk, pasmo przekazane radiofonii UKF),
- 146 - 174 MHz (wyższe pasma służb państwowych i różnego typu pogotowia przeniesionych z pasma 31 - 47 MHz),
- 300 - 335 MHz (łączność między taksówkami - „Zew Taxi"),
- 430 – 450 MHz (różne służby i zastosowania).

Łączność w tego typu sieciach charakteryzuje się następującymi aspektami technicznymi:

- anteny wszystkich stacji są dookólne (charakteryzują się znacznymi wymiarami, gdyż praca odbywa się na falach o długości rzędu 5 - 13 metrów);
- istnieje duże prawdopodobieństwo zakłóceń od innych stacji, pracujących na sąsiednich częstotliwościach oraz od stacji wykorzystujących jonosferę;
- stosowane są emisje F3E z odstępem międzykanałowym 50 kHz, 25 kHz lub w wersjach najnowszych 12,5 kHz,
- do dyspozycji jest niewielka ilość dostępnych kanałów częstotliwości:
  - dla stacji przenośnych - 1, 3 lub 5 kanałów,
  - dla stacji pokładowych (samochód, motocykl, statek) - 5 do 12 kanałów,
  - dla stacji bazowych -10 lub rzadziej kilkadziesiąt kanałów,
- zasięg standardowy (wymagany) dla tego typu łączności wynosi:
  - dla relacji stacja przenośna - stacja przenośna = 3 - 8 km;
  - dla relacji stacja przenośna - stacja przewoźna = 5 -12 km;
  - dla relacji stacja przenośna - stacja bazowa = 7 -15 km;
  - dla relacji stacja przewoźna - stacja bazowa = 10 - 25 km;
  - dla relacji stacja przewoźna - stacja przewoźna = 10 - 20 km;
  - dla relacji stacja bazowa - stacja bazowa = 25 - 50 km.

Nowoczesnym wydaniem pracy tego typu sieci jest funkcjonowanie prywatnych sieci ruchomej łączności radiowej oraz PMR (ang. Private Mobile Radio).

Sieci PMR charakteryzują się stałym przyporządkowaniem określonym (wykupionym, wydzielonym) kanałom radiowym. Brak dynamicznego zarządzania częstotliwościami ogranicza takie sieci do nielicznych abonentów i bliskich zasięgów łączności.

Reasumując, system dyspozytorski można określić jako wykupienie od krajowego urzędu administracji radiowej prawa do wykorzystywania jednego lub kilku kanałów częstotliwości na danym obszarze. Polega on na pracy opartej o następujące cechy:

- kanały radiowe co 25 kHz;
- podzakresy zawarte w zakresie VHF 30 – 300 MHz;
- wykorzystanie „kanału otwartego", gdzie każdy abonent słucha na bieżąco prowadzonych w kanale rozmów i na tej podstawie decyduje o zajętości kanału.

Rozpatrując organizację sieci dyspozytorskich należy pamiętać o kilku istotnych ułomnościach takich rozwiązań radiokomunikacyjnych. Za takie niedogodności należy uważać, między innymi:

- brak prywatności rozmów;
- nieefektywne wykorzystanie pasma częstotliwości;
- niska jakość łączności wynikająca, przede wszystkim, z rodzaju modulacji;
- potrzeba samodzielnego utrzymywania łączności;
- ograniczone możliwości automatyzacji pracy.

Można sądzić, iż obecne sieci dyspozytorskie czy PMR są najczęściej etapem przejściowy w wielu organizacjach do łączności trankingowej.

3.2. Podstawowe założenia łączności trankingowej

Określenie łączności trankingowej pochodzi od angielskiego słowa trunking (łączność międzymiastowa, główny trakt łączności). Głównym celem tego typu łączności jest zwiększenie efektywności wykorzystania posiadanej liczby kanałów radiowych. Dotyczy to, przede wszystkim, takich podzakresów przeznaczonych do łączności radiotelefonicznej, jak: 30 – 87 MHz, 156 – 174 MHz, 300 – 345 MHz oraz 450 – 470 MHz.

Szczególnie najniższe podzakresy obarczone są bardzo napiętą „gospodarką częstotliwościową". Taka sytuacja zmusiła do poszukiwania prostych metod zwiększających liczbę użytkowników pracujących w wąskich podzakresach lub na nielicznych wartościach częstotliwości.

Opracowano więc automatyczne i dynamiczne przydzielanie wspólnego zbioru kanałów radiowych (częstotliwości) pozwalające pracować znacznie większej liczbie abonentów i to z różnych organizacji (firm, instytucji itp.).

Najprościej tłumacząc zasadę pracy tego typu systemu można stwierdzić, że cały zestaw posiadanych (wykupionych) częstotliwości zostaje udostępniony wszystkim abonentom, bez przydzielania konkretnych wartości określonym abonentom. Pozwala to na nie blokowanie tych częstotliwości, które nie są w danym czasie wykorzystywane. Nie występuje wtedy sytuacja powstawania długich „kolejek" do określonych kanałów częstotliwości (przypisanych konkretnym użytkownikom) przy jednoczesnym występowaniu kanałów, które nie są wykorzystywane (są przypisane innym użytkownikom).

W systemie trankingowym istnieje wspólna kolejka do wszystkich dysponowanych kanałów N. Jeśli łączna liczba żądań połączenia w danym czasie nie przekroczy liczby N, wtedy wszystkie żądania zostaną zrealizowane. Tak więc funkcjonowanie systemu opiera się na rachunku prawdopodobieństwa tego, że wszyscy użytkownicy chcieliby jednocześnie korzystać z systemu, jest znikome. Efektywność wykorzystania dynamicznie przydzielanych kanałów jest większa niż, gdyby każdy abonent posiadałby na stałe swój własny kanał.

W przypadku funkcjonowania systemu trankingowego, jego właścicielem i operatorem może być wyspecjalizowana w dziedzinie takich usług firma, lub sam użytkownik, i wtedy mówi się:

- dla pierwszego przypadku – o publicznym systemie trankingowym PAMR (ang. - Public Access Mobile Radio);
- dla drugiego przypadku – o prywatnym systemie trankingowym PMR (ang. - Private Mobile Radio).[9]

Kluczem do sukcesu funkcjonowania systemu trankingowego jest, oprócz oczywiście odpowiednio nowoczesnych urządzeń, procedura sterująca procesem kolejkowania abonentów oraz przydzielania im odpowiednich (wolnych) kanałów. Stacja abonenta (ruchomego lub również stacjonarnego) jest przekierowywana na odpowiedni kanał. Abonent nie musi sprawdzać (i nie ma takiej możliwości) zajętości kanału, co zapewnia również pewną prywatność prowadzonych rozmów przez urządzenie, a jest to ważne, szczególnie gdy użytkownicy takiej sieci pochodzą z różnych organizacji.

Systemy trankingowe w porównaniu z tradycyjną pracą radiotelefoniczną charakteryzują się następującymi cechami:[10]

- większa pojemność systemu, co pozwala albo wykorzystywać mniej kanałów (ponosić mniejsze opłaty za przydzielone częstotliwości od urzędu administracji radiowej) lub obsługiwać więcej abonentów (a więc uzyskiwać większe opłaty od usługobiorców);

[9] W. Hołubowicz, P . Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 85
[10] tamże, s. 85

- większa elastyczność systemu, w przypadku zmieniania liczby abonentów;
- większa niezawodność, awaria kanału nie blokuje połączeń, lecz tylko wydłuża czas oczekiwania (i to nieznacznie);
- mniej skomplikowane tworzenie grup priorytetowych abonentów i kolejności dostępu;
- większa prywatność prowadzonych rozmów – słyszą się tylko ci abonenci, którzy zostali zestawieni przez stację dyspozytorską – stacja przełączająca realizuje funkcje automatycznie, bez udziału człowieka – operatora;
- większa jakość prowadzonych rozmów przez abonentów, gdyż występuje mniejsza liczba częstotliwości zakłócanych (w przypadku występowania zakłóceń stacje zostają automatycznie przełączone na nową częstotliwość pracy);
- możliwość tworzenia usług dodanych – np. definiowania grup abonentów, przekierowywanie rozmów radiotelefonicznych;
- w przypadku rzadkiego korzystania, zmniejszenie ponoszonych kosztów;
- w przypadku sytuacji kryzysowych, pogarszanie pracy systemu zachodzi z pewnym opóźnieniem, co jest niezmiernie ważne dla takich służb jak policja, pogotowie ratunkowe, straż pożarna, wojsko, transport kolejowy;
- większa prostota działania – nie potrzebne jest ciągłe dyżurowanie operatorów przełączających rozmowy i dysponujących kanałami.

W związku z takimi cechami, systemy trankingowe mogą realizować następujące rodzaje połączeń:[11]

- indywidualne;
- grupowe ze wszystkimi członkami grupy;
- z siecią PSTN (dla ograniczonej grupy abonentów);
- alarmowe i awaryjne;
- bezpośrednio ze służbami publicznymi;
- w postaci krótkich informacji cyfrowych;
- w postaci transmisji danych.

[11] K. Wesołowski, ... op. cit., s. 247

3. 3. Klasyfikacja systemów trankingowych

Istnieje kilka zasadniczych kryteriów podziału systemów trankingowych. Pierwszy, wcześniej wspomniany, to podział ze względu na rodzaj właściciela takiej sieci, czyli rozróżnienie:

- publicznego systemu trankingowego PAMR (ang. - Public Access Mobile Radio);
- prywatnego systemu trankingowego PMR (ang. - Private Mobile Radio).

System publiczny jest dedykowany dla niepowiązanych między sobą podmiotów i osób, które stają się użytkownikami systemu po wykupieniu abonamentu na świadczenie takich usług u wyspecjalizowanego operatora. Użytkownikami są wtedy organizacje działające na niewielkim obszarze, takie, jak firmy transportowe, służby miejskie.

Dla tak zdefiniowanych użytkowników systemu najważniejszymi cechami jest:

- niski koszt usługi (połączeń);
- zachowana prywatność połączeń;
- dostęp poprzez terminale radiowe również do sieci stacjonarnej.

Sieci trankingowe, zwane prywatnymi, są przeznaczone dla wydzielonego użytkownika. Są to najczęściej służby publiczne – policja, pogotowia, straż, a także niektóre zastosowania w wojsku. Użytkownicy ci mają zupełnie inne wymagania, a poziom ich realizacji jest wysoki. Tymi wymaganiami są między innymi:

- szybki dostęp do sieci;
- niezawodność systemu;
- bezpieczeństwo systemu;
- przepustowość systemu;
- żywotność systemu;
- odporność systemu na wszelakie zakłócenia.

Inny podział systemów trankingowy uwzględnia rodzaj normy, która determinuje pracę.

W Europie i w krajach dawnej Wspólnoty Brytyjskiej bardzo popularny jest standard MPT, zaproponowany w latach 90-tych przez brytyjskie Ministerstwo Przemysłu i Handlu. Wśród wielu standardów MPT za najważniejszy jest uważany standard MPT 1327, który dotyczy sygnalizacji i określa protokół wymiany informacji pomiędzy stacją bazową a stacjami ruchomymi. Standard ten określa sposób losowego dostępu do systemu na zasadzie dynamicznie zmienianej długości ramki. Rozwiązuje to problem kolizji zgłoszeń od wielu abonentów systemu równolegle. Wysyłane przez stacje bazowe ramki mają różne liczby szczelin czasowych.

Standard MPT 1327 wiąże ze sobą wiele innych norm, takich jak:[12]

- MPT 1317 – opis transmisji informacji cyfrowych przez łącze radiowe;
- MPT 1318 – określenie głównych założeń technicznych;
- MPT 1343 – opis styku radiowego dla publicznych sieci trankingowych;
- MPT 1347 – określenie styków systemowych;
- MPT 1352 – procedury testów homologacji przenośnych terminali trankingowych.

Oprócz standardu brytyjskiego, można wyodrębnić wiele standardów opracowywanych przez samych producentów. Najbardziej znane w Europie są standardy firmy Motorola i Ericsson (system EDACS).

W latach 90-tych poprzedniego wieku zainicjowano bardzo intensywne badania i następnie działania wdrożeniowe w zakresie systemów trankingowych przeznaczonych dla sytuacji kryzysowych, rozumianych jako klęski żywiołowe, zagrożenia bezpieczeństwa państw, itp. Szczególnie intensywne prace nad tego typu systemami były wynikiem zaistnienia potrzeby funkcjonowania autonomicznych sieci radiowych, które zapewniłyby niezależność – np., w sytuacjach utraty łączności komórkowej i stacjonarnej.

W Polsce przykładami zastosowania systemów typu MPT są:[13]

- Sieć Telekomunikacji Polskiej S.A. (sieć RADIO-NET);
- Policja – Warszawa, Kraków, Łódź (system EDACS);
- PLL LOT (S-Kay).

Za wady analogowych systemów trankingowych uważa się, między innymi:[14]

- stosunkowo słabe wykorzystanie pasma częstotliwości;
- zbyt niski stopień zwielokrotnienia wykorzystania kanału częstotliwości;
- niski stopień bezpieczeństwa sygnału mowy;
- wysoki koszt urządzeń zabezpieczających prywatność prowadzonych rozmów;
- znaczny koszt eksploatacji sieci wynikający z przydzielenia pojedynczego kanału rozmównego na nośną oraz stosunkowo niskiej szybkości transmisji danych.

Powyższe okoliczności zintensyfikowały prace międzynarodowych organizacji telekomunikacyjnych w kierunku ucyfrowienia systemów trankingowych. W następstwie tych prac powstał system TETRA (ang. TransEuropean Trunked Radio), który jest już w pełni cyfrowym.

Poniżej zostanie szerzej omówiony system TETRA.

---

[12] K. Wesołowski, ... op. cit., s. 248
[13] tamże, s. 251
[14] tamże, s. 251

3.4. System TETRA (ang. TransEuropean Trunked Radio)

System TETRA jest europejskim systemem bezprzewodowej łączności cyfrowej. Został on opracowany dla przesyłania drogą radiową sygnałów mowy jak i transmisji danych (z wykorzystaniem komutacji kanałów oraz komutacji pakietów).

Głównym celem tego europejskiego standardu było umożliwienie współpracy wielu różnych służb publicznych, zapewniając przesyłanie wszystkich niezbędnych rodzajów informacji (nawet obrazu – np. w zastosowaniach dla policji).

W systemie TETRA przewiduje się szerokie spektrum realizowanych usług, którymi są:[15]

- transmisja sygnałów mowy – półdupleksowa i dupleksowa, bez i z szyfrowaniem;
- obsługa abonentów indywidualnych i grupowych;
- transmisja danych w trybie połączeniowym z przepływnością od 9,6 kbit/s (przy wysokim zabezpieczeniu przed błędami) do 28,8 kbit/s (przy braku kodowania protekcyjnego);
- pakietowa transmisja danych;
- przekazywanie rozmów – warunkowe i bezwarunkowe;
- blokowanie przychodzących i wychodzących rozmów;
- informowanie abonenta o rozmowach przychodzących;
- określanie numerów skróconych;
- tworzenie różnych grup abonentów;
- realizacja połączeń konferencyjnych,
- dokonywanie gradacji i kolejkowania abonentów;
- tworzenie priorytetów dostępu do sieci oraz do jej zasobów, np. w zależności od natężenia ruchu radiowego;
- autoryzacja zestawianych połączeń przez centrum kontroli sieci;
- monitorowanie przez uprawnionego abonenta sieci, np. przestrzegania tajemnicy itp.;
- przechowywanie zapamiętanych informacji i przekazywanie adresatowi, gdy on, np. włączy się do sieci.

W porównaniu z trankingowymi systemami analogowymi TETRA proponuje:

- dwu i czterokrotny wzrost wykorzystywania pasma;
- wielokrotne wykorzystanie częstotliwości nośnych;
- większe bezpieczeństwo przesyłanego sygnału mowy (cyfrowe kodowanie sygnału, możliwość jego szyfrowania);

[15] J. Krasoń, TETRA – otwarty standard cyfrowej łączności trankingowej, Przegląd Telekomunikacyjny, 3/2000

- jakość sygnału nie zależną od mocy sygnału;
- eliminowanie szumu i interferencji od innych użytkowników;
- szybką transmisję danych;
- możliwość podziału obszaru stacji bazowej na sektory.

W architekturze systemu TETRA można wyodrębnić:

- część komutacyjno-sieciową;
- część radiową.

W części komutacyjno-sieciowej znajdują się centrale główne i lokalne, gdzie centrale lokalne:

- są podporządkowane centralom głównym;
- pełnią rolę pośrednika pomiędzy wyniesionymi koncentratorami central sieci stałej, a sterownikami stacji bazowych.

W części komutacyjno-sieciowej występuje takie elementy, jak:

- rejestratory użytkowników;
- centra eksploatacji i utrzymania ruchu;
- moduły współpracy zewnętrznej z publiczną siecią stałą, z siecią ISDN, siecią pakietowej transmisji danych.

W części radiowej występują stacje stałe (bazowe) oraz terminale przenośne, gdzie:

- terminale ruchome realizują podstawowe rodzaje pracy - foniczną i transmisję danych;
- stacje stałe – są obsługiwane przez operatora.

Transmisja w kanale radiowym w systemie TETRA opiera się na:

- mieszanym sposobie wielodostępu, TDMA oraz FDMA;
- podzieleniu pasma do pracy systemu na kanały co 25 kHz;
- podzieleniu tych kanałów czasowo tj. zbudowanie struktury ramkowej obejmującej cztery kanały rozmówne zwielokrotnione czasowo;
- wykorzystywaniu modulacji DQPSK;
- kodowaniu mowy z przepływnością 4,8 kbit/s (mniejsza niż w telefonii stacjonarnej)
- przepływności danych w kanale częstotliwościowym o wartości 19,2 kbit/s;
- przepływności danych po kodowaniu protekcyjnym o wartości 36 kbit/s;

W standardzie TETRA rozróżnia się trzy rodzaje terminali ruchomych o odpowiednich mocach wyjściowych toru nadawczego:

- dla terminali przenośnych do 1 W;
- dla terminali przewoźnych do 3 W;

- dla terminali stałych do 10 W.

Przy największych wartościach mocy są możliwe do utrzymania nawet zasięgi przekraczające 50 kilometrów od stacji bazowej (podobnie jak w sieciach dyspozytorskich). W poniższej tabeli zestawiono podstawowe parametry systemu TETRA.

Tab. 3.1 Podstawowe parametry standardu TETRA

Parametr	Wartość
Podzakresy pracy	380 MHz – 385 MHz 395 MHz – 400 MHz
Odstęp międzykanałowy	25 kHz
Liczba kanałów na jednej nośnej	4
Rodzaj wielodostępu	FDMA /TDMA
Rodzaj modulacji	π/4 DQPSK
Przepływność danych w jednym kanale częstotliwościowym	2,4 - 19,2 kbit/s
Przepływność danych po kodowaniu protekcyjnym	36 kbit/s
Szybkość modulacji	18 bodów
Algorytm dostępu do kanału transmisyjnego	ALOHA
Czas zestawienia połączenia	300 ms
Czas przejścia terminala miedzy obszarami stacji bazowej	Mniej niż 1 s
Klasy mocy torów nadawczych	1 / 3/ 10 W
Wielkość komórek	Do 60 km
Maksymalna prędkość terminala mobilnego	Do 200 km/h

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 98

Zastosowana znacznie prostsza od wykorzystywanej w GSM modulacja π/4 DQPSK nie posiada stałej obwiedni, ale jej wahania są do przyjęcia. Chwilowa wartość amplitudy nigdy nie jest równa zero, co daje znaczną odporność stosowanych układów na zniekształcenia nieliniowe.

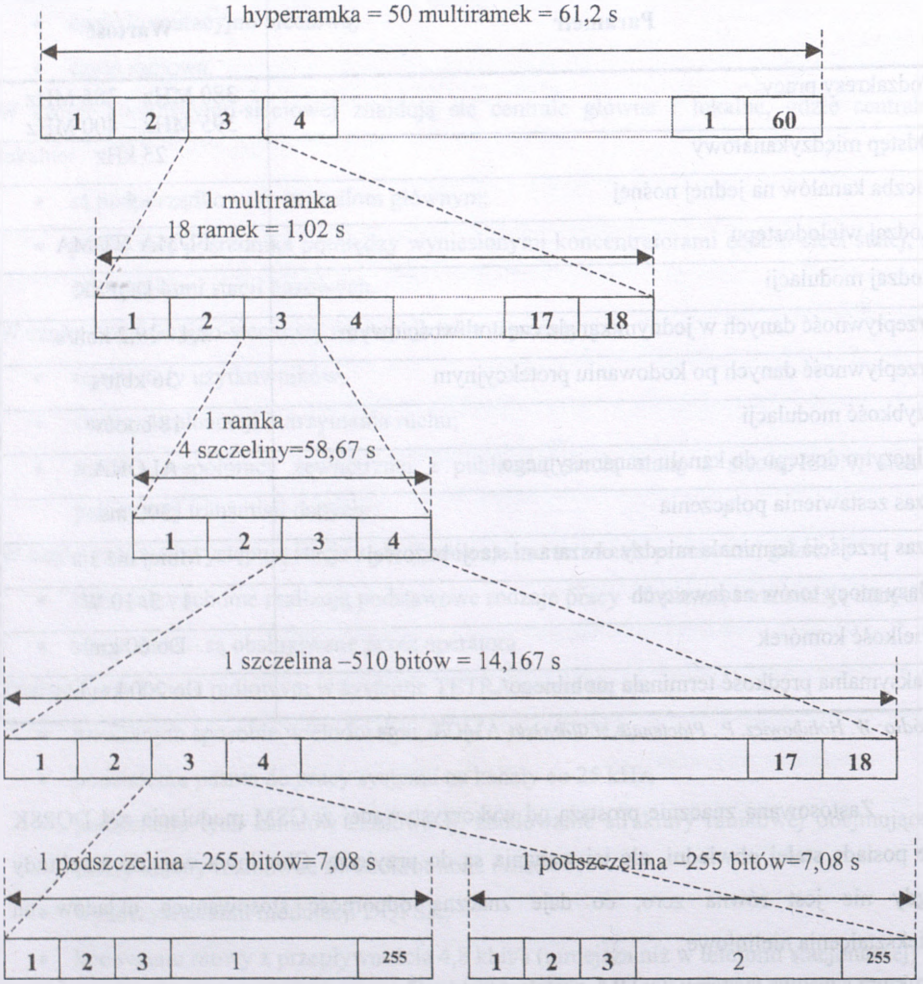
Struktura czasowa systemu TETRA została oparta o:[16]

- hyperramkę, która trwa 61,2 s oraz dzieli się na 60 wieloramek;
- wieloramki trwające 1,02 s oraz dzielące się na 18 ramek;
- ramki trwające 56,67 (170/3) s oraz dzielące się na 4 szczeliny czasowe;

[16] K. Wesołowski, ...op. cit., s. 255

- szczeliny czasowe trwające 14,166 (85/6) ms, w których transmitowane są pakiety niosące ciągi informacyjne.
- szczeliny czasowe ze strony stacji ruchomej podzielone na dwie podszczeliny.

Na poniższym rysunku przedstawiono strukturę czasową TDMA stosowaną w TETRA.



Rys. 3.1. Struktura dostępu czasowego TDMA w sieci TETRA
Źródło: K. Wesołowski, ...op. cit., s. 255

W systemie TETRA wyodrębnia się dwa rodzaje kanałów fizycznych:

- fizyczny kanał sterujący CP (ang. – Control Physical channel) transmitujący informacje sterujące. Jeden z tych kanałów jest głównym (na nośnej głównej), a pozostałe są dodatkowymi;
- fizyczny kanał rozmówny TP (ang. Traffic Physical channel) transmitujący logiczne kanały rozmówne.

Transmisja w TETRA, podobnie jak w GSM, odbywa się za pomocą kanałów fizycznych, w których realizowane są kanały logiczne.

Kanałom fizycznym odwzorowane są kanały logiczne. Transmisja odbywa się za pomocą pakietów, gdzie pakiet reprezentuje fizyczną zawartość szczeliny lub podszczeliny czasowej.

3.5. System EDACS (ang. Enhanced Digital Communication System)

System EDACS jest systemem autorstwa firmy Ericsson z klasy standardów zamkniętych (tylko ta firma ma prawo wyłączności budowy i eksploatacji systemu). Z racji swojego zamknięcia system szczególnie był przeznaczony jako bardzo bezpieczny dla służb takich jak policja, wojsko itp.

Jego szczególne możliwości wynikające z powyższych założeń można zawrzeć w następujących cechach:[17]

- krótki czas dostępu do sieci (krótszy niż 250 ms);
- cyfrowa transmisja fonii i danych;
- każdy kanał może służyć do przesyłania sygnału – co znacznie podwyższa efektywność systemu w stosunku do TETRA i MPT (każda nośna może realizować funkcje kanału sterującego);
- możliwość różnej konfiguracji kanałów alarmowanych abonentów;
- możliwość analogowej transmisji fonii (a więc istnieje możliwość współpracy systemów analogowych z cyfrowymi);
- zaszyfrowanie transmisji sygnału mowy z szybkością do 9600 bit/s w wersji szerokopasmowej systemu;
- transmisja danych 4800 bit/s do 9600 bit/s w wersji szerokopasmowej;
- połączenia z różnymi sieciami stacjonarnymi (również resortowymi).

Wąskopasmowość i szerokopasmowość systemu EDACS wynika z wykorzystania kanału radiowego z odstępem 12,5 kHz lub 25 kHz.

[17] K. Wesołowski, ...op. cit., s. 252

Omawiany system pracuje w następujących podzakresach częstotliwości:

- 136 – 174 MHz (kanały co 25 kHz);
- 403 – 515 MHz (kanały co 25 kHz);
- 806 – 870 MHz (kanały co 25 kHz);
- 894 – 941 MHz (kanały co 12,5 kHz).

System może pracować na czterech poziomach konfiguracji, tj.:

- pierwszy poziom - pojedyncza stacja bazowa, pełny tranking;
- drugi poziom – uzupełnienie poziomu pierwszego o elektroniczne sterowanie;
- trzeci poziom – możliwość transmisji danych;
- czwarty poziom – dedykowany dla znacznych obszarów (zarządzanie pracą kilku stacji bazowych).

Cechą charakterystyczną EDACS są różne właściwości połączeń grupowych, którymi między innymi, może być:[18]

- blokada podwójnego nadawania priorytetowego - abonentowi umożliwia się pracę przy jednoczesnym blokowaniu nadawania innych (mogą oni tylko słuchać);
- przeszukiwanie grup abonentów – wybrani abonenci mogą stale przeszukiwać grupy korespondentów;
- identyfikacja stacji ruchomej – na wyświetlaczach stacji ruchomej z danej grupy pojawia się identyfikator nadającego abonenta;
- automatyczne dodawanie stacji ruchomej do grupy abonenckiej po jej włączeniu.

Naturalnym zjawiskiem jest zastępowanie starych systemów telekomunikacyjnych nowymi, a ostatnio, szczególnie wchłanianie podsystemów lokalnych przez sieci globalne.

Tak też można byłoby myśleć w przypadku systemów trankingowych, a szczególnie ich cyfrowych reprezentantów takich jak TETRA oraz EDACS, że ich funkcje przejmą ostatecznie sieci telefonii komórkowej.

Jednak kwestią dyskusyjną jest już teraz przesądzanie o całkowitym zaniku w jakimś określonym czasie systemów niezależnych od globalnych, za jakie obecnie są postrzegana jest telefonia komórkowa GSM czy UMTS. Szczególnie dla bezpieczeństwa służb publicznych, zawsze będzie potrzebna alternatywa telekomunikacyjna w postaci systemów niezależnych, wykorzystywanych np. w czasie kryzysu. Rysuje to więc znaczną perspektywę przed nowymi odmianami systemów trankingowych, rozwijających się niezależnie od sieci publicznych.

[18] tamże, s. 252

Rozdział 4.

SYSTEMY TELEFONII KOMÓRKOWEJ PIERWSZEJ GENERACJI

4.1. Ogólne założenia telefonii komórkowej

Historia idei telefonii komórkowej rozpoczęła się w latach 40-tych poprzedniego wieku w USA. U podstaw telefonii komórkowej stanęły następujące zasadnicze założenia:

- podzielenie obszaru łączności na komórki, co pozwoliło wykorzystywać mniejsze moce nadajników oraz takie same wartości częstotliwości w poszczególnych komórkach (jest to również cecha kilku innych systemów radiokomunikacyjnych);
- realizowanie połączenia ze stacji ruchomej do bazowej do przez cały czas trwania rozmowy abonenta (zachodzi więc tutaj proces przekazywanie połączenia stacji ruchomej przez kolejne stacje bazowe – bez odczuwania tego przez abonenta).

Z systemami telefonii komórkowej wiąże się wiele podstawowych określeń dotyczących często specyfiki funkcjonowania tych systemów. Między innymi, takimi określeniami są:

a) wiązka kanałów;
b) liczba wiązek kanałów;
c) stopień powtórzenia kanałów;
d) wydajność widmowa;
e) pojemność systemu komórkowego.

Pojęcia te zostaną poniżej skrótowo omówione.[19]

Ad a) Wiązka kanałów, charakteryzuje się tym, że jest zestawem kanałów dla jednej komórki odległych od siebie dla uniknięcia przeników międzykanałowych;

Ad b) Liczba wiązek kanałów (N) charakteryzuje się tym, że:

- określa liczność grup komórek;
- jest podstawą tworzenia planu przydziału częstotliwości w komórkach;
- stanowi wartość stałą w sieci;
- decyduje o odległości pomiędzy komórkami używającymi takie same częstotliwości;
- dla dużych wartości N - takie same częstotliwości stosowane są daleko od siebie;
- dla dużych wartości N – występuje mniejsza liczba kanałów w wiązce.

[19] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe systemy telefonii komórkowej GSM 900, GSM 1800, UMTS, Poznań 1998, s. 22-25

Ad c) Stopień powtórnego wykorzystania komórki

Stopień powtórnego wykorzystania komórki wyraża się następującym wzorem:

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

gdzie:

D – odległość między najbliższymi komórkami wykorzystującymi takie same wartości częstotliwości;

R – promień komórki;

N – liczba wiązek kanałów.

Ad d) Wydajność widmowa komórki (n) charakteryzuje się tym, że

- jest jednym z czynników decydujących o pojemności systemu;
- jest miarą efektywności wykorzystania systemu;
- wyraża się następującym wzorem:

$$n = \frac{L}{f \bullet S}$$

gdzie:

f – szerokość pasma zajmowanego przez system [MHz]

L – liczba kanałów rozmównych w danej komórce lub w obszarze przywołań;

S – obszar obsługiwany przez dana komórkę lub obszar przywołań [km^2];

Ad e) Pojemność systemu komórkowego

Jest to zdolność systemu komórkowego do obsługi ruchu telefonicznego.

Podawana jest dla powierzchni obsługiwanej w km^2 i wyraża się następującym wzorem:

$$P = \frac{L}{S}$$

gdzie:

Reasumują, pojemność systemu komórkowego można zwiększyć, poprzez:

- poszerzenie pasma częstotliwości;
- podział komórek na mniejsze;
- podział komórek na sektory;
- budowanie struktury warstwowej systemu;
- przekazywanie kanałów częstotliwości między komórkami.

Najczęściej alternatywa obejmuje przydzielenie nowych kanałów lub zmniejszenie komórki.

Znamiennym jest więc to, że najczęściej stosowanym sposobem powiększania pojemności systemu komórkowego jest zmniejszanie powierzchni komórek.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że szczególnie na pewnym poziomie rozbudowy systemu, powiększanie liczby wykorzystywanych częstotliwości z przydzielonego zakresu nie jest możliwe. Wynika to z kilku powodów, którymi, między innymi są:

- ograniczona (przydzielona, wykupiona) liczba częstotliwości pracy;
- problematyczne przestrojenie urządzeń nadawczych i odbiorczych;
- problematyczne sprzętowo rozpoczęcie wykorzystania bardziej efektywnych technik wielodostępu zwiększających pojemność systemu.

Dlatego też, najbardziej efektywnym stacje się budowanie nowych stacji bazowych i sterowników, w celu zwiększenia liczby komórek, a nie kosztowne i często niemożliwe przeróbki sprzętu nadawczo-odbiorczego.

Za zalety zmniejszania komórek uważa się, między innymi:[20]

- wspomniane wcześniej zwiększenie pojemności systemu (mniejsze prawdopodobieństwo zatkania systemu, większa liczba abonentów – większe wpływy z opłat usługowych);
- zmniejszenie mocy nadajników (dłuższy czas pracy urządzeń ruchomych, mniejszy koszt energii wymaganej do pracy stacji bazowych, mniejsze rozmiary stacji ręcznej i bazowej, mniej szkodliwa praca dla abonentów telefonów ruchomych, jak i osób przebywających w sąsiedztwie stacji bazowych);
- prostsze konstrukcje urządzeń ręcznych i bazowych (są one mniejsze i tańsze).

Z drugiej strony zmniejszanie wielkości komórek prowadzi nie tylko do licznych zalet, ale też generuje kilka istotnych wad, jakimi są:

- większa liczba potrzebnych stacji bazowych i sterowników (wzrost kosztów);
- potrzeba rozbudowy możliwości central systemowych (wzrost kosztów);
- zwiększanie się krążących w systemie informacji – rozmów, jak i sygnalizacji, co generuje liczne problemy;
- zwiększenie liczby stacji bazowych generujące inny problem – ich lokalizacji i instalacji, co w dużych (zagęszczonych) aglomeracjach nie jest proste (wymagania prawne);
- zwiększenie liczby stacji bazowych generuje więcej problemów technicznych z eksploatacją (obsługowych, naprawczych).

[20] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 41

4.2. Charakterystyka wybranych systemów telefonii komórkowej pierwszej generacji

Systemy analogowej telefonii komórkowej nie tylko poprzedzały obecnie rozpowszechnioną sieć telefonii komórkowej GSM, ale w wielu krajach nadal z powodzeniem funkcjonują. W Stanach Zjednoczonych funkcjonował system IMTS – potem AMPS, natomiast Europą „podzieliły się" systemy TACS oraz NMT. Właśnie tym systemom poświęcono tutaj więcej uwagi, wszakże bardzo wiele rozwiązań analogowych znalazło swoje zastosowanie w sieciach cyfrowych telefonii komórkowej.

4.2.1. System IMTS (ang. Improved Mobile Telephone Service)[21]

W USA poprzednikiem systemu AMPS był IMTS, system na pół trankingowy, na pół komórkowy. Charakteryzował się on następującymi parametrami technicznymi:

- funkcjonował w jednym z dwóch podzakresów częstotliwości: 150 – 175 MHz oraz 450 – 470 MHz;
- posiadał odstęp międzykanałowy 25 kHz;
- dupleks realizowany był w dziedzinie częstotliwości z odstępem 5 MHz;
- moce stacji bazowych były rzędu 50 – 75 W, a więc takie jak dla normalnych stacji radiotelefonicznych - trankingowych;
- moce stacji ruchomych – pokładowych wynosiły do 15 W, przenośnych do 5 W;
- zasięgi (wielkość komórki) wynosiły kilkadziesiąt kilometrów (nawet 50 km);
- osiągany duży zasięg ograniczał pojemność systemu;
- nie realizowano przekazywania połączenia stacji ruchomej między komórkami.

4.2.2. System AMPS (ang. Advanced Mobile Phone System)[22]

System AMPS jest przykładem jednego z pierwszych systemów telefonii komórkowej, nie tylko w Stanach Zjednoczonych – ale też na świecie.

System ten musiał spełnić dwa zasadnicze zadania, jakie postawiła przed jego projektem Federalna Komisja Łączności USA. Było to:

- efektywniej niż dotychczasowe systemy (radiotelefoniczne) wykorzystywać zasoby częstotliwościowe;
- zapewnić większą pojemność, niż dotychczasowe systemy (radiotelefoniczne).

System AMPS realizował powyższe wymaganie, poprzez następujące rozwiązania:

- wielokrotne wykorzystywanie tej samej częstotliwości, ale w różnych, odpowiednio od siebie oddalonych komórkach;

[21] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 11
[22] tamże, s. 12

- zachowanie ciągłości łączności dla stacji ruchomej przemieszczającej się między komórkami.

System oparty na tych założeniach i wymaganiach funkcjonuje od lat 70-tych poprzedniego wieku na obszarze Ameryki Północnej i Południowej.

Transmisja w kanale radiowe systemu została oparta na następujących uwarunkowaniach:

- praca w dwóch podzakresach „do" i „ze stacji bazowej" o szerokości 25 MHz odległych o 45 MHz w paśmie 800 MHz (824 – 849 MHz / 869 – 894 MHz);
- taki podzakres generował 832 kanały co 25 kHz (istniały systemy wąskopasmowe z kanałami co 10 kHz z modulacją FM wąskopasmową);
- każdy podzakres do pracy w jedną stronę został podzielony na przemian na zestawy częstotliwości dla poszczególnych operatorów;
- stosowana była modulacja analogowa FM;
- wykorzystano sygnalizację akustyczną dla stacji ruchomych lub z modulacją FSK dla stacji bazowych;
- stosowano moce wyjściowe torów nadawczych stacji ruchomych były rzędu 0,5- 4 W.

Architektura systemu był przejrzysta, składa się z następujących komponentów:

- central systemu ruchomego;
- stacji bazowych;
- stacji ruchomych.

Zastosowano w omawianym systemie interfejs radiowy pomiędzy stacją ruchomą a stacją bazową oraz kablowy lub radiowy – pomiędzy stacją bazową a centralą systemu ruchomego.

Każda stacja bazowa systemu charakteryzowała się następującymi właściwościami:

- składała się z kilku zespołów nadawczo-odbiorczych dla każdej częstotliwości pracy;
- obsługiwała kilka kanałów rozmównych;
- obsługiwała jeden lub kilka kanałów sygnalizacyjnych;
- realizowała zarządzanie zasobami radiowymi komórki (przydział kanałów częstotliwości, przekierowywania),
- realizowała identyfikację stacji ruchomych;
- zestawiała połączenie (wywołanie stacji ruchomej i przydział kanału);
- wykrywała oraz sygnalizowała błędy;
- realizowała cały proces adaptacji mocy (pomiaru i jej redukcji).

Centrale systemu radiowego oparte były na centralach systemu stacjonarnego uzupełnionych w elementy śledzenia ruchu abonentów (w celu przesłania np. sygnałów przywoławczych).

4.2.3. System TACS (ang. Total Access Communication System)

Niezależnie od poczynać koncepcyjnych i organizacyjnych państw Skandynawii oraz Beneluksu w rozwoju sieci telefonii komórkowej NMT w latach 80-tych poprzedniego wieku, w Wielkiej Brytanii opracowano inny system zwany TACS (ang. Total Access Communication System). System ten, oprócz wymienionych krajów, funkcjonował w innych nie objętych zasięgiem NMT, tj. w Włoszech i Hiszpanii. Miał on swoje zastosowanie również w wielu krajach azjatyckich i afrykańskich (państwa „Korony Brytyjskiej").

Transmisja w kanale radiowym systemu TACS charakteryzowały następujące aspekty:[23]

- od początku planowano wykorzystanie w paśmie 900 MHz (wynikało to z mniej rozległych i z bardziej zaludnionych obszarów państw wykorzystujących TACS);
- praca w podzakresach częstotliwości 890 – 905 MHz / 935 – 950 MHz;
- praca w dwóch podzakresach po 15 MHz (bezpośrednio sąsiadujące z podzakresami dla GSM wydzielonymi z pierwotnie szerszego pasma TACS – 25 MHz) przeznaczonych do pracy „w górę" i „w dół", odległych o 45 MHz;
- odstęp kanałowy zdefiniowano na 25 kHz, co daje przy szerokości dwóch pasm po 15 MHz zestaw po 600 kanałów;
- modulacja analogowa typu FM, sygnalizacja z manipulacją FSK do stacji ruchomej oraz akustyczna ze stacji ruchomej;
- klasy mocy wyjściowej ruchomych urządzeń nadawczych rzędu: 0,6 / 1,6 / 4 / 10 W.

Architektura systemu jest przejrzysta, składa się z następujących komponentów:

- central systemu ruchomego;
- stacji bazowych;
- stacji ruchomych;
- rejestrów stacji własnych, jako centralnych baz danych, gdzie zapisane są takie informacje, jak: numer katalogowy, uprawnienia, dostępne usługi oraz informacje o aktualnym położeniu stacji ruchomych;
- rejestrów stacji obcych, skojarzonych z każdą centralą systemu, posiadających pobrane z rejestru stacji własnych parametry stacji znajdujących się w obszarze centralowym.

Rodzaje kanałów zastosowanych w systemie TACS można zawrzeć w dwóch obszarach:

- kanały sygnalizacyjne,
- kanały rozmówne.

[23] tamże, s. 15

4.2.4. System NMT (ang. Nordic Mobile Telephone)

System telefonii komórkowej NMT jako standard został opracowany przy współpracy państw północnej Europy – Skandynawii (Szwecja, Finlandia i Norwegia) pod koniec lat 70 poprzedniego wieku.

Przed standardem stanęły takie same wymagania i wyzwania, jak przed „rówieśnikami" w USA (AMPS) czy w Wielkiej Brytanii i Irlandii (TACS), czyli przede wszystkim:

- efektywne wykorzystanie wąskich podzakresów częstotliwości;
- możliwość swobodnego przemieszczania się stacji ruchomej między komórkami bez utraty łączności na obszarze Skandynawii;
- jakość transmisji mowy porównywalna z tą w sieci stałej.

Tak więc najważniejszą cechą systemu komórkowego, odróżniającego jego od poprzednich systemów, jest zdolność śledzenia przemieszczania abonenta ruchomego i świadczenie dla niego usług „mobilnych".

Pierwotnie system wykorzystywał podzakresy w paśmie 450 MHz. Takie wartości częstotliwości (jedne z najniższych wykorzystywanych w systemach telefonii komórkowej) wynikały zE szczególnych uwarunkowań terenowych, jakimi były:

- duże obszary zalesione;
- znaczne różnice wysokości;
- często obszary o słabej infrastrukturze stałej;
- często obszary o małym zaludnieniu.

Od 1981 do 1986 roku na tyle dynamicznie system rozwijał się jako rozwiązanie komercyjne, że w końcu pojawiła się potrzeba przydzielenia nowych podzakresów, w wyniku drastycznego zmniejszenia się pojemności systemu. I tak doszło do wykorzystywania również podzakresów w paśmie 900 MHz.

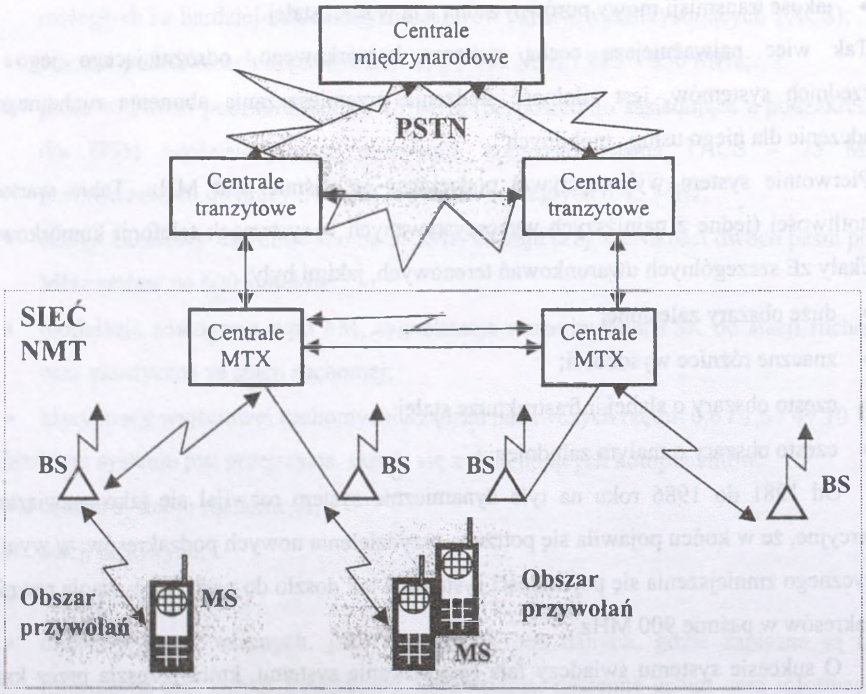
O sukcesie systemu świadczy fala zastosowania systemu, która przeszła przez kraje Europy Zachodniej (Francja, Belgia, Holandia, Luksemburg oraz Hiszpania), następnie Europy Środkowej oraz Wschodniej. Popularność w tych krajach systemu NMT zapewne wynikała z podobnych cech obszaru – wymagane stosunkowo duże zasięgi jednej komórki i słaba infrastruktura stała w wielu rejonach.

W Polsce system działał od 1992 roku pod nazwą Centertel jako wariant NMT 450i. Modyfikacje NMT 450i w stosunku do NMT 450 polegały, między innymi, na:

- zastosowaniu procedur identyfikacji abonenta;
- wprowadzeniu wyświetlania kodu obszaru centralowego w terminalu przenośnym.

Architektura systemu była planowana do wykorzystania w obszarach o dobrze rozwiniętej infrastrukturze telekomunikacyjnej (jako system nakładkowy na już funkcjonujące, np. poprzez dzierżawienie), choć również w systemie uwzględniono sytuacje odwrotne. Z tego tez powodu system NMT stał się tak popularny w Europie Środkowej i Wschodniej. W sytuacjach potrzeby znacznego rozwinięcia własnej infrastruktury przewidziano oprócz linii radiowych ze stacji bazowych do central MTX (ang. Mobile Telephone eXchange), również taką komunikację między centralami obszarowymi (pasmo 8 GHz oraz lokalnie15 GHz i 23 GHz).

Na poniższym rysunku przedstawiono architekturę systemu NMT.



Rys. 4.1. Architektura systemu NMT

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 19

Architektura systemu NMT została oparta o trzy główne warstwy, gdzie:

a) **Warstwa nadrzędna** obejmuje centrale systemu komórkowego MTX dokonujące komutacji i sterowania. Realizują one następujących styki:

- do sieci stałej, gdzie połączone są z centralami poziomu miejscowego, tranzytowego (strefowego) oraz międzynarodowego;

- do sieci komórkowej, gdzie połączone są ze stacjami bazowymi BS (ang. Base Station) i dalej przez interfejs radiowy ze stacjami ruchomymi MS (ANG. Mobile Station).

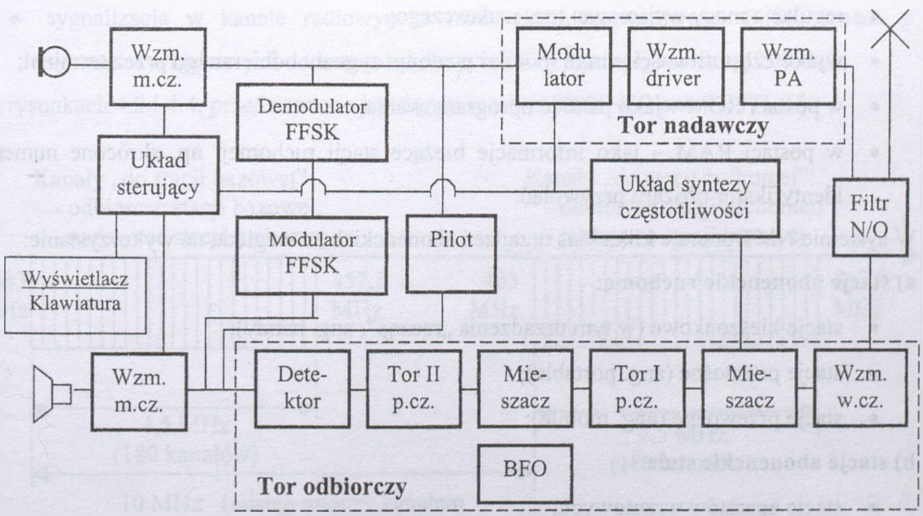
b) Warstwa stacji bazowych BS, które składają się z:

- urządzeń radiowych oddzielnych dla każdego kanału częstotliwości;
- układu sprzęgacza TM (ang. transmatch) w torach nadawczych,
- układu wejściowego torów odbiorczych;
- układu testowania (w tym pomiaru) sygnału wejściowego.
- zestawu mechanicznego złożonego z anten – dookólnej i sektorowych;
- układu zasilania stacji – zespołu sieci stałej oraz zespołu zasilania awaryjnego.

c) Warstwa ruchomych urządzeń radiowych, które składają się z toru nadawczego i odbiorczego oraz układu sterującego, który spełnia, przede wszystkim zadanie:

- włączania i wyłączania toru nadawczego;
- przydzielania kanałów rozmównych;
- wymiany informacji z centralą MTX (w tym wysyłanie alarmów do centrali);
- testowania łączy przychodzących od centrali MTX.

Na poniższym rysunku przedstawiono ogólną budowę stacji ruchomej NMT



Rys. 4.2. Ogólna budowa telefonu ruchomego NMT

Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 21

W systemie NMT wyodrębnia się następujące obszary obsługowe:

- **obszar centralowy** – tworzony przez stacje bazowe podlegające jednej centrali MTX;
- **obszar przywołań** (podobszar powyższego) – informacja o położeniu stacji ruchomej przechowywana jest w systemie z dokładnością do tego obszaru.

Stacja ruchoma NMT

Telefon komórkowy systemu NMT (rys. 4.2.) składa się z następujących elementów:

- tor nadawczy (modulator, wzmacniacz sterujący i końcowy);
- tor odbiorczy (wzmacniacz w.cz., dwa mieszacze, dwa stopnie p.cz., układ oscylatora lokalnego o stałej częstotliwości, układ detektora częstotliwości);
- układ wejściowo-wyjściowy (filtr rozdzielający);
- układ syntezy częstotliwości;
- układy wzmocnienia m.cz. – oddzielnie dla nadawania i odbioru;
- układ demodulatora i modulatora FFSK z układem sterującym (na mikroprocesorze) i wewnętrznym zegarem dla obsługiwania sygnalizacji przesyłanej w sposób cyfrowy;
- do układu sterującego podłączony układ wyświetlacza wraz z klawiaturą
- interfejs użytkownika stanowią: klawiatura, wyświetlacza, głośnik i mikrofon.

Mikroprocesor nie tylko steruje sygnalizacją z MTX, ale też reguluje inne funkcje toru nadawczego i odbiorczego, miedzy innymi takie, jak:[24]

- regulacja mocy wyjściowej tory nadawczego;
- wybór częstotliwości – m.in. pomiar poziomu sygnału odbieranego przez terminal;
- w postaci ROM – jako pamięć oprogramowania;
- w postaci RAM – jako informacje bieżące stacji ruchomej, np. skrócone numery, identyfikator obszaru przywołań.

W systemie NMT pracuje kilka klas urządzeń abonenckich ze względu na wykorzystanie:

a) stacje abonenckie ruchome:

- stacje kieszonkowe (w tym urządzenia „ręczne", ang. handy);
- stacje przenośne (ang. portable);
- stacje przewoźne (ang. mobile);

b) stacje abonenckie stałe:

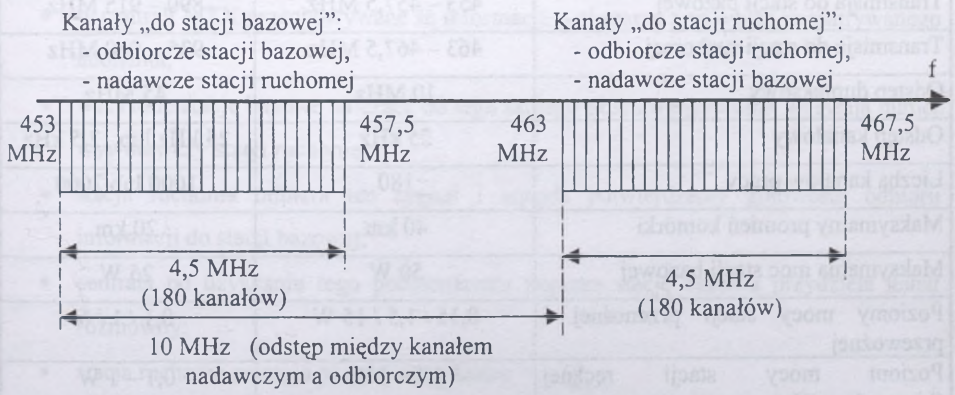
- stacje aparatów wrzutowych;
- stacje firmowych PBX (abonenci sieci stałej mogą „wychodzić" przez interfejs radiowy w sieci komórkowej na zewnątrz firmy).

[24] W. Hołubowicz, P . Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 21

Transmisja w kanale radiowym w systemie NMT opierała się na podobnych zasadach jak inne tego typu systemy analogowe. Wśród wielu cech charakteryzujących transmisję w kanale radiowym w systemie NMT, za najważniejsze należy uznać:[25]

- wielodostęp typu FDMA (wielodostęp charakterystyczny dla sieci analogowych);
- realizacja dupleksu w dziedzinie częstotliwości z odstępem 10 MHz oraz 45 MHz;
- możliwość pracy w dwóch podzakresach – pasmo 450 MHz oraz 900 MHz;
- praca w paśmie o szerokości 4,5 MHz (2 x 4,5 MHz) dla podzakresu 450 MHz;
- praca z odstępem międzykanałowym, standardowym dla pracy FM, 25 kHz, co dla pasma o szerokości 4,5 MHz generowało 180 kanałów pracy;
- praca w paśmie o szerokości 25 MHz (2 x 50 MHz) dla podzakresu 900 MHz;
- odstęp międzykanałowy 25 kHz dla pasma o szerokości 25 MHz w podzakresie 900 MHz generował 1000 kanałów pracy. Możliwy i stosowany w nowocześniejszych odmianach systemu NMT odstęp międzykanałowy „połówkowy" tj. 12,5 kHz dla pasma o szerokości 25 MHz w podzakresie 900 MHz generował aż 2000 kanałów;
- zastosowanie modulacji częstotliwości FM z dewiacją częstotliwości $\Delta f = 3$ kHz;
- stosowanie znacznych mocy stacji bazowych sięgających dynamicznie nawet 50 W dla pasma 450 MHz i o połowę mniej dla pasma dwa razy „krótszego" tj. 900 MHz, natomiast przewoźnych i przenośnych - rzędu kilkunastu watów w paśmie 450 MHz;
- sygnalizacja w kanale radiowym z manipulacją częstotliwości FFSK (znana z systemów wojskowych do transmisji danych UKF) z przepływnością 1200 bit/s;

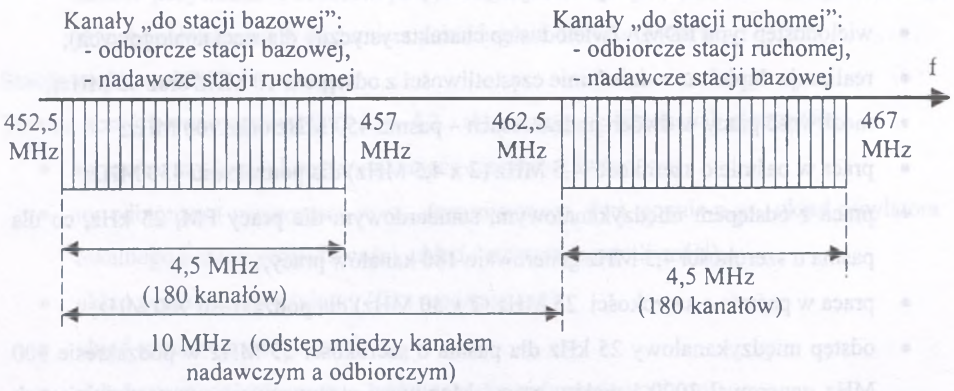
Na rysunkach 4.3 i 4.4. przedstawiono band plan systemu NMT 450 oraz NMTi 450



Rys. 4.3. Struktura przydzielonego podzakresu częstotliwości dla NMT 450 w Europie
Źródło: opracowanie własne

[25] tamże, s. 22

Poniżej przedstawiono strukturę podzakresu częstotliwości przydzielonego dla systemu NMTi w Polsce



Rys. 4.4. Struktura przydzielonego podzakresu częstotliwości dla NMTi 450 w Polsce
Źródło: opracowanie własne

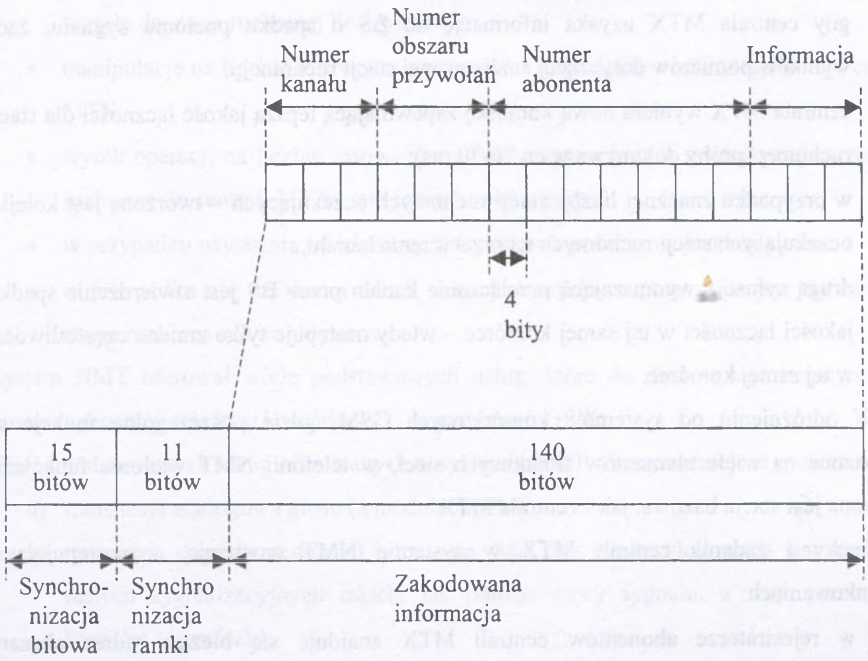
W poniższej tabeli scharakteryzowano ogólnie transmisję w kanale radiowym w systemach NMT 450 i NMT 900.

Tab.4.1. Porównanie systemu NMT 450 oraz NMT 900

Parametry	NMT 450	NMT 900
Pasmo częstotliwości	420 – 490 MHz	890 – 960 MHz
Transmisja do stacji bazowej	453 – 457,5 MHz	890 – 915 MHz
Transmisja do stacji ruchomej	463 – 467,5 MHz	935 – 960 MHz
Odstęp dupleksowy	10 MHz	45 MHz
Odstęp kanałowy	25 kHz	25 kHz lub 12,5 kHz
Liczba kanałów pracy	180	1000 lub 2000
Maksymalny promień komórki	40 km	20 km
Maksymalna moc stacji bazowej	50 W	25 W
Poziomy mocy stacji przenośnej i przewoźnej	0,15 / 1,5 / 15 W	0,1 / 1 / 6
Poziom mocy stacji ręcznej (kieszonkowej)	0,1 – 1 W	0,1 – 1 W
Szybkość transmisji sygnalizacji w kanale radiowym	1,2 kbit/s	1,2 kbit/s

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 23

Długość ramki sygnalizacyjnej w systemie NMT jest określona na 166 bitów. Poniżej przedstawiono strukturę ramki sygnalizacyjnej stosowanej w systemie NMT.



Rys, 4.5. Struktura ramki sygnalizacyjnej w NMT
Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 23

Procedury systemowe w NMT zawarte są w następujących krokach:[26]

- w centrali MTX przechowywane są informacje o obszarze przywołań rozpatrywanego abonenta;
- wszystkie stacje bazowe należące do tego samego obszaru przywołań wysyłają numer wywoławczy stacji ruchomej;
- stacja ruchoma odbiera ten sygnał i wysyła potwierdzenie gotowości odbioru informacji do stacji bazowej;
- centrala po uzyskaniu tego potwierdzenia poprzez stację bazową przydziela kanał rozmówny;
- stacja ruchoma zajmuje przydzielony kanał;
- po dostrojeniu się stacji ruchomej do kanału następuje identyfikacja stacji ruchomej;

[26] tamże, s. 24

- zostaje zestawione w kanale rozmównym połączenie stacji bazowej ze stacją ruchomą;
- po zestawieniu takiego połączenia może zachodzić przełączanie kanałów podczas przemieszczania się abonenta prowadzącego rozmowę przez telefon komórkowy;
- gdy centrala MTX uzyska informację od BS o spadku poziomu sygnału, żąda wyników pomiarów dotyczącej analizowanej stacji ruchomej;
- centrala MTX wybiera nową komórkę zapewniającą lepszą jakość łączności dla stacji ruchomej (próby dokonywane co 20-30 ms);
- w przypadku znacznej liczby stacji ruchomych oczekujących – tworzona jest kolejka oczekujących stacji ruchomych na przełączenie kanału;
- drugą sytuacją wymuszającą przełączanie kanału przez BS jest stwierdzenie spadku jakości łączności w tej samej komórce – wtedy następuje tylko zmiana częstotliwości w tej samej komórce.

W odróżnieniu od systemów komórkowych GSM, gdzie poszczególne funkcje są rozproszone na wiele elementów składowych sieci, w telefonii NMT wieloma funkcjami obarczona jest stacja bazowa, jak i centrala MTX.

Cechy i zadania centrali MTX w systemie NMT zawierają w następujących uwarunkowaniach:

- w rejestratorze abonentów centrali MTX znajduje się bieżący adres obszaru centralowego danego abonenta;
- decyzja o przekazaniu stacji ruchomej do innej komórki jest realizowana przez centralę MTX, która dysponuje wynikami pomiarów mocy sygnału i stosunku sygnał / szum pilota (jedna z czterech częstotliwości akustycznych) w łączności ze stacją ruchomą;
- kanały zakłócane są wyłączane przez MTX z pracy.

Bardzo istotnym obszarem zainteresowania konstruktorów NMT było zabezpieczenie przed nadużyciami w systemie. Najbardziej dojrzały wariant takich zabezpieczeń posiadał dopiero system NMT 900 oraz NMTi 450.

Wśród dwóch rodzajów identyfikacji zabezpieczającej przed nadużyciami (dotyczącymi korzystania z usługi abonenckiej w sieci oraz identyfikacji terminala jako urządzenia przypisanego konkretnemu użytkownikowi) w systemie NMTi 450, który był wprowadzony w końcowej fazie funkcjonowania tej generacji telefonii komórkowej w Polsce, zastosowano tylko procedurę identyfikacji abonenta.

Identyfikacja ta polegała na następujących rozwiązaniach:[27]

- w terminalu i w centrali MTX przechowywany jest klucz identyfikacji abonenta;
- w przypadku inicjacji połączenia ze stacji ruchomej do stacji bazowej, centrala MTX wysyła do stacji ruchomej liczbę losową;
- manipulacje na liczbie losowej są realizowane równolegle w stacji ruchomej i centrali MTX;
- wynik operacji na liczbie losowej z wykorzystaniem klucza przesyłany jest ze stacji ruchomej do centrali MTX i tam jest porównywany;
- w przypadku uzyskania takich samych wyników – połączenie jest zestawiane.
- w przypadku nie uzyskania takich samych wyników – połączenie jest zrywane, ale stacja ruchoma nie jest blokowana.

System NMT oferował wiele podstawowych usług, które do dziś są wykorzystywane w nowszej generacji telefonii komórkowej - w systemach GSM.

Wśród podstawowych usług oferowanych w systemie NMT, za najważniejsze uważane, są:

a) transmisja analogowa głosu (z modulacją FM);
b) transmisja danych rzędu 600 bit/s – np. faks (ale wtedy blokowana jest transmisja danych sygnalizacyjnych takich, jak pomiar mocy sygnału, a więc przełączanie kanałów / komórek);
c) usługi zwane dodatkowymi – takie jak w sieciach stałych.

Ad a) Usługi transmisji fonii mogą dotyczyć nie tylko terminali ruchomych, ale też aparatów wrzutowych, instalowanych tam gdzie nie ma możliwości skorzystania z infrastruktury stałej telekomunikacyjnej (zajazdy, motele w terenie o słabym zaludnieniu).

Ad b) Usługi transmisji danych odbywają się w oparciu o wykorzystanie specjalnego modemu, komunikującego telefon komórkowych z urządzeniem faksowym lub następnym modemem.

Ad c) Usługi dodatkowe obejmują, między innymi, takie jak:

- warunkowe i bezwarunkowe przekierowywanie połączeń;
- połączenia konferencyjne;
- blokowanie wybranych połączeń (np. połączeń złośliwych);
- kolejkowanie połączeń;
- zdalne sterowanie urządzeniami (wykorzystanie sygnalizacji wielotonowej).

Bezpośrednim następcą systemu NMT w Europie stał się system GSM.

---

[27] tamże, s. 26

Rozdział 5.

SYSTEMY TELEFONII KOMÓRKOWEJ DRUGIEJ GENERACJI

5.1. Rys historyczny GSM (ang. Global System of Mobile Communication)

Druga generacją telefonii komórkowej jest system GSM. W niniejszym opracowaniu pod pojęciem GSM będzie się również uwzględniać podsystem DCS bezpośrednio „wchłonięty" przez sieci GSM i określany ostatnio (od 1998) jako GSM 1800.

System GSM jest wynikiem europejskich badań - szczególnie zespołu koncepcyjnego GSM (franc. Grupe Speciale Mobile), który realizował zadanie opracowania systemu telefonii komórkowej dla Europy Zachodniej.

U podstaw tworzenia tego systemu stanęło kilka głównych założeń, takich jak:

- standard wspólny dla całej Europy Zachodniej;
- funkcjonowanie w dwóch, tzw. dupleksowych, przydzielonych przedziałach częstotliwości w paśmie 900 MHz (gdzie już pracował system NMT oraz TACS);
- system całkowicie cyfrowy;
- system wąskopasmowy;
- system z dwoma równolegle rozwijanymi podsystemami - dla pasm 900 MHz oraz DCS (ang. Digital Cellular System) dla 1800 MHz (przeznaczony dla rejonów gęsto zaludnionych).

Pierwszą fazę koncepcyjnego tworzenia systemu GSM zakończono w 1990 roku, a pierwsze uruchomienie zrealizowano w 1992 roku dla GSM oraz dla DCS w 1993 roku.

5.2. Architektura systemu GSM

Funkcjonowanie najbardziej rozpowszechnionego w Europie systemu telefonii cyfrowej oparto na bardziej złożonej strukturze niż w systemach analogowych. Zrezygnowano z wielofunkcyjności wielu elementów sieci, przypisując bardziej specjalistyczne zadania wyodrębnionym nowym komponentom.

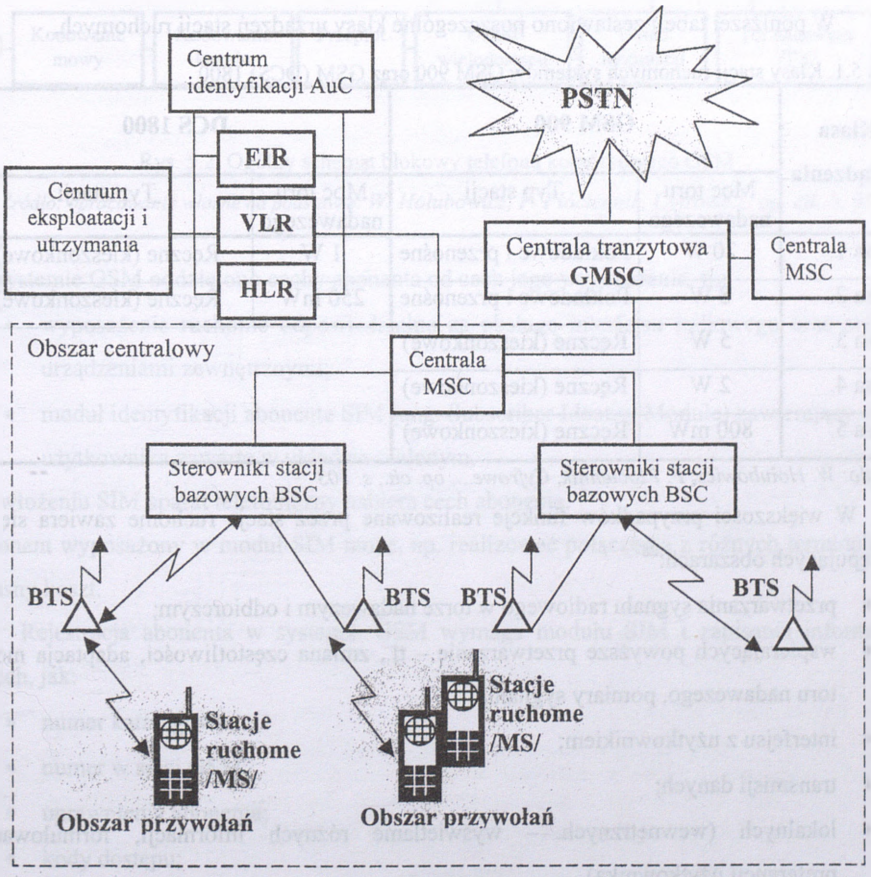
Ostatecznie architekturę systemu GSM oparto, między innymi, na:

- podsystemie zarządzania systemem GSM;
- podsystemie komutacyjno-sieciowym (centrale, rejestry, węzły pakietowe, sterowniki stacji bazowych);
- podsystemie radiowym (stacje ruchome, stacje bazowe).

Z systemem GSM związane są więc następujące elementy sieciowe:

a) stacje ruchome MS (ang. Mobile Station);
b) stacje bazowe BTS (Base Transceiver Station);
c) sterowniki stacji bazowych BSC (ang. Base Station Controller);
d) centrale systemu MSC (ang. Mobile Switching Centre);
e) centrala tranzytowa systemu GMSC (ang. – Gateway MSC)
f) rejestr stacji obcych VLR (ang. – Visitors Location Register);
g) rejestr stacji własnych HLR (ang. – Home Location Register);
h) rejestr identyfikacji wyposażenia EIR (ang. – Equipment Identity Register)
i) centrum weryfikacji autentyczności AuC (ang. – Authentication Centre);
j) węzeł pakietowy GSN (ang. – GPRS Support Node) GGSN (ang. Gateway for GSN);

Na poniższym rysunku przedstawiono ogólnie strukturę systemu telefonii komórkowej GSM.



Rys. 5.1. Struktura systemu GSM

Źródło: opracowanie własne

Ad a) Stacje ruchome

Stacja ruchoma jest urządzeniem bezpośrednio przypisanym abonentowi. Są to urządzenia najczęściej klasyfikowane w zależności od stosowanej mocy wyjściowej toru nadawczego terminala. Przyjęcie takiego kryterium wyodrębnienia rodzajów telefonów komórkowych pozwala zdefiniować pięć klas urządzeń dla pasma GSM 900 oraz dwie klasy dla GSM (DCS) 1800.

Najczęściej stosowane obecnie urządzenia dwupasmowe GSM 900/1800 realizują owe klasy łącznie, tj. telefon może nadawać w paśmie 900 MHz z mocą wyjściową 2 W i dla pasma 1800 z mocą wyjściową 1 W.

Wyodrębnienie tylko dwóch klas w paśmie 1800 MHz i to o najmniejszych mocach wynika z oczywistego powodu, że urządzenia takie mają funkcjonować w najmniejszych komórkach, gdzie i moc, jak i rozmiary stacji, mają realizować cel łączności osobistej.

W poniższej tabeli zestawiono poszczególne klasy urządzeń stacji ruchomych.

Tab. 5.1. Klasy stacji ruchomych systemów GSM 900 oraz GSM (DCS) 1800

Klasa urządzenia	GSM 900		DCS 1800	
	Moc toru nadawczego	Typ stacji	Moc toru nadawczego	Typ stacji
Klasa 1.	20 W	Pokładowe i przenośne	1 W	Ręczne (kieszonkowe)
Klasa 2.	8 W	Pokładowe i przenośne	250 mW	Ręczne (kieszonkowe)
Klasa 3.	5 W	Ręczne (kieszonkowe)		
Klasa 4.	2 W	Ręczne (kieszonkowe)		
Klasa 5.	800 mW	Ręczne (kieszonkowe)		

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 103

W większości przypadków funkcje realizowane przez stacje ruchome zawiera się w następujących obszarach:[28]

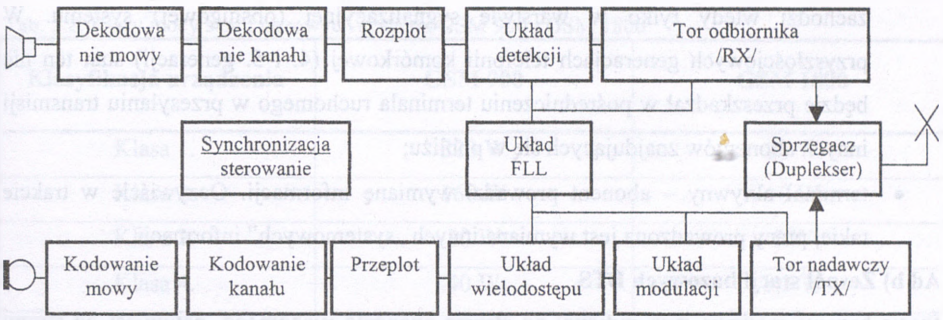
- przetwarzania sygnału radiowego w torze nadawczym i odbiorczym;
- wspierających powyższe przetwarzanie – tj., zmiana częstotliwości, adaptacja mocy toru nadawczego, pomiary sygnału;
- interfejsu z użytkownikiem;
- transmisji danych;
- lokalnych (wewnętrznych – wyświetlanie różnych informacji, formułowanie preferencji użytkownika).

[28] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 87

Ogólny układ telefonu komórkowego GSM można podzieli na:

- zespoły wzmacniaczy, filtrów, konwerterów, sprzęgaczy oraz antenę;
- układy kodera / dekodera mowy a następnie kanału; układ korekcji kanału radiowego; układ sterujący; moduł transmisji danych, moduł SIM.

Poniżej przedstawiono ogólny schemat blokowy stacji ruchomej.



Rys. 5.2. Ogólny schemat blokowy telefonu komórkowego GSM

Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 85

W systemie GSM oddzielono cechy abonenta od cech jego wyposażenia, tj.:

- wyposażenie ruchome odpowiedzialne za obsługę interfejsu radiowego oraz styk z urządzeniami zewnętrznymi;
- moduł identyfikacji abonenta SIM (ang. Subscriber Identity Module) zawierający dane użytkownika zawarte w układzie scalonym.

Po włożeniu SIM aparat telefoniczny nabiera cech abonenta.

Abonent wyposażony w moduł SIM może, np. realizować połączenia z różnych terminali na własny koszt.

Rejestracja abonenta w systemie GSM wymaga modułu SIM i zapisania informacji takich, jak:

- numer katalogowy;
- numer w sieci GSM;
- uprawnienia abonenta;
- kody dostępu;
- parametry wykorzystywane przy kodowaniu i szyfrowaniu, itp.

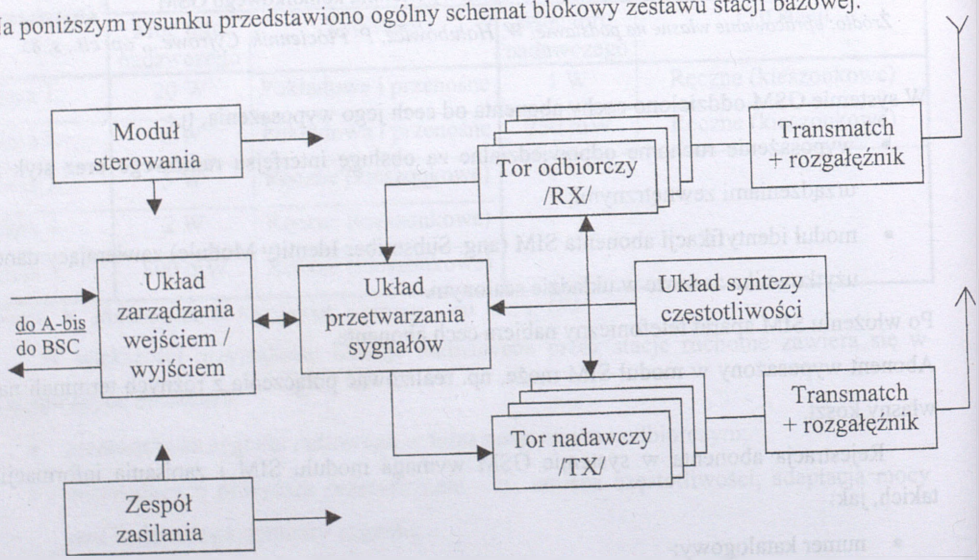
W systemie GSM stacja ruchoma jest rozpatrywana w trzech zasadniczych stanach:

- terminal wyłączony – stacja nie uczestniczy w procedurach zachodzących w systemie. Sytuacja taka zachodzi w dwóch przypadkach – wyłączenia (odłączenia) zasilania lub wyjścia stacji poza zasięg systemu;
- terminal w stanie czuwania – abonent nie prowadzi wymiany informacji przez aparat, a więc urządzenie jest włączone i jest w zasięgu systemu. Wymiana informacji zachodzi wtedy tylko w warstwie sygnalizacyjnej (obsługowej) systemu. W przyszłościowych generacjach telefonii komórkowej (4. i 5. generacji) stan ten nie będzie przeszkadzał w pośredniczeniu terminala ruchomego w przesyłaniu transmisji innych abonentów znajdujących się w pobliżu;
- terminal aktywny – abonent prowadzi wymianę informacji. Oczywiście w trakcie takiej pracy prowadzona jest wymiana innych „systemowych" informacji.

Ad b) Zespół stacji bazowych BTS

Stacje bazowe realizują styk radiowy po stronie abonenta ruchomego, natomiast od strony sterowników najczęściej styk kablowy lub rzadziej radiowy w postaci radiolinii.

Na poniższym rysunku przedstawiono ogólny schemat blokowy zestawu stacji bazowej.



Rys. 5.3. Ogólna budowa stacji bazowej BTS w systemie GSM

Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 99

Do najczęściej wymienianych funkcji stacji bazowych zalicza się:

- rozpoznawanie zgłoszeń stacji ruchomych;
- przetwarzanie sygnału w obu kierunkach (w tym realizowany jest proces szyfrowania i rozszyfrowania sygnałów);

- pełna obsługa kanału radiowego;
- komunikowanie się ze sterownikiem stacji bazowych (wymiana informacji pomiarowych i sterujących).

W systemie GSM występuje kilka klas stacji bazowych wyodrębnianych ze względu na poziom mocy wyjściowej stopni nadawczych.

W poniższej tabeli przedstawiono taki podział dla obu pasm pracy systemu GSM.

Tab. 5.2. Klasy mocy stacji bazowych systemu GSM 900 i GSM 1800

Klasyfikacja urządzenia	GSM 900	GSM 1800
Klasa 1.	320 W	20 W
Klasa 2.	160 W	10 W
Klasa 3.	80 W	5 W
Klasa 4.	40 W	2,5 W
Klasa 5.	20 W	
Klasa 6.	10 W	
Klasa 7.	5 W	
Klasa 8.	2,5 W	

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 103

Wartości mocy z klasy 1. – 4. w paśmie 900 MHz są już szkodliwe dla zdrowia ludzkiego w bliskim przebywaniu od stacji bazowej, tym bardziej, gdy stosowane są anteny wiązkowe (nie chodzi tu szkodliwość termiczną, tylko biochemiczną).

Dla przykładu uważano, że funkcjonowanie kuchenek mikrofalowych pracujących, np. na częstotliwości 1250 MHz (a więc blisko pasma 900 MHz) posiadających moc w sondzie 20 watów może być szkodliwe w dłuższym okresie oddziaływania dla zdrowia ludzkiego.

Ad c) Sterowniki stacji bazowych BSC

Niezwykle ważną rolę w systemie GSM spełniają sterowniki stacji bazowych. Mają one na celu, w porównaniu z systemami NMT czy TACS, odciążenie z wielu funkcji stacji bazowych oraz central MSC. Pozwoliło to uprościć budowę i zmniejszyć stacje bazowe (co z kolei umożliwiło montowanie ich w wielu dotychczas niedostępnych miejscach) oraz zwiększyć niezawodność sieci przez rozproszenie wielu ważnych funkcji do różnych jej elementów (np. awaria stacji bazowej w systemach analogowych powodowała utratę pewnych informacji).

Za główne zadanie sterowników stacji bazowych uważa się czuwanie nad funkcjonowaniem części radiowej systemu GSM oraz przetwarzanie sygnałów odbieranych i nadawanych.

Cele sterowników stacji bazowych określa się w zestawie następujących wymagań:[29]

- szyfrowanie transmisji radiowej
- zarządzanie kanałami radiowymi;
- przywoływanie stacji ruchomych;
- adaptacyjne wpływanie na moc wyjściową stacji bazowych i stacji ruchomych;
- monitorowanie zajętości kanałów;
- monitorowanie ruchu do centrali MSC.

Sterowniki stacji bazowych stosują transmisję w interfejsach typu A i Abis z przepływnością 2 Mbit/s za pomocą modulacji PCM (dla kanału z wartością 64 kbit/s), gdzie:

- interfejs Abis jest realizowany ze sterowników stacji bazowych do stacji bazowych;
- interfejs A jest realizowany ze sterowników stacji bazowych do central MSC (sieci szkieletowych) do obsługi z komutacją kanałów;
- interfejs Gb jest realizowany ze sterowników stacji bazowych do sieci szkieletowej do obsługi z komutacją pakietów, np. przy wykorzystaniu transmisji GPRS.

Transmisja w interfejsie radiowym odbywa się z przepływnością 13 kbit/s (pomijając kodowanie kanałowe).

Ad d) Centrale MSC

Część komutacyjno-sieciowa realizuje kilka podstawowych zadań, między innymi takie, jak:

- realizacja funkcji komutacyjnych systemu;
- współpraca z innymi systemami telekomunikacyjnymi;
- przechowywanie informacji o użytkownikach;
- przechowywanie informacji o uprawnieniach;
- przechowywanie informacji bieżących.

Architekturę podsystemu komutacyjno-sieciowego tworzą:

- Centrale MSC (występują dwa podstawowe ich typy – zwykłe i tranzytowe);
- Rejestratory VLR (bezpośrednio sprzężone z MSC);
- Rejestratory stacji własnych HLR;
- Centra identyfikacji AuC;
- Rejestratory identyfikacji wyposażenia EIR.

[29] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 105

Centrale MSC realizują bardzo ważną funkcję komutacji w systemie GSM. Oprócz zestawiania połączeń między abonentami centrale realizują naliczanie opłat. O specyfice tego typu central przede wszystkim decyduje ruchomość (mobilność) systemu GSM, co wymaga współpracy z dwoma rodzajami podstawowych rejestrów: HLR oraz VLR.

Centrale MSC można więc podzielić na następujące komponenty:

- część komutacyjną i część sterującą (spotykane w systemach stacjonarnych);
- część telefonii ruchomej MTS (ang. Mobile Telephony Subsystem).

Część komutacyjno-sterująca MSC składa się z następujących elementów:

- modułu sterowania ruchem;
- modułu łączy i sygnalizacji;
- modułu taryfikacji;
- modułu eksploatacji i utrzymania;
- pola komutacyjnego.

Część telefonii ruchomej centrali MSC składa się z następujących elementów:

- modułu analizy numeracji;
- modułu sygnalizacyjnego (i łączy) dla styku z HLR;
- rejestru stacji obcych VLR;
- modułu dostępu

Moduły dostępu dotyczą takich obszarów radiowego funkcjonowania centrali, jak:

- zarządzania zestawianiem połączeń;
- zarządzanie ruchomością abonentów;
- zarządzanie zasobami radiowymi;
- sprzęganie.

Centrale MSC, z jednej strony realizują styk A ze stacjami sterującymi, z drugiej strony są podłączone do central innych sieci telekomunikacyjnych.

Pracę central tego typu bezpośrednio wspiera moduł IWF (ang. InterWorking Functions), który szczególnie jest przydatny przy współpracy sieci GSM z niekompatybilną z nią inną publiczną siecią zewnętrzną.

Ad e) Centrale GMSC

Innym rodzajem central wykorzystywanych w systemie GSM są centrale GMSC (są to często centrale MSC uzupełnione modułem IWF). Zadaniem tej centrali jest zapewnienie odpowiedniego styku systemu GSM z innymi systemami telekomunikacyjnymi. W przypadku inicjowania połączenia ze strony abonenta sieci stałej, sygnał jego dociera do centrali GMSC,

która najpierw sprawdza dane wywoływanego abonenta w systemie GSM z rejestrem HLR, potem poprzez MSC z rejestrem VLR i połączenie jest zestawiane.

Rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje realizacji funkcji centrali typu GMSC:

- jako oddzielnego, samodzielnego urządzenia;
- jako nakładki, przystawki do funkcjonującej już centrali MSC (częściej stosowane rozwiązanie ze względów ekonomicznych).

Ad f), Ad g) Rejestry VLR oraz HLR[30]

Innym współpracującym bezpośrednio z centralą MSC elementem sieci jest rejestr VLR. Rejestry VLR i HLR są tymi elementami sieci GSM, których głównym zadaniem jest śledzenie położenia abonentów ruchomych i odnotowywanie zmian różnych przypisanych im parametrów. W rzeczywistości są to komputery z odpowiednim oprogramowaniem i dużej mocy obliczeniowej.

W systemie można wyodrębnić dwa rodzaje rejestrów śledzących ruch abonentów:

- rejestr stacji obcych VLR (ang. – Visitors Location Register);
- rejestr stacji własnych HLR (ang. – Home Location Register);

W obszarze działania sieci GSM może funkcjonować jeden lub, przy wielomilionowej rzeszy abonentów, kilka rejestrów HLR.

Rejestr HLR jest uważany za centralny, gdzie w momencie rejestrowania abonenta w systemie są wpisywane dane użytkownika (większość z nich jest nie zmieniana w trakcie eksploatacji), takie, jak:

a) niezmienne:

- numer katalogowy urządzenia (kategoria abonenta);
- numer sprzętowy abonenta (w sieci ISDN oraz w sieci ruchomej);
- klucz identyfikacyjny (hasło);

b) zmienne:

- status abonenta;
- lista uprawnionych usług (usług przenoszenia oraz teleusług);
- aktualne położenia abonenta (informacje najczęściej zmieniane – na bieżąco w bezpośrednim komunikowaniu się z rejestrem VLR).

Rejestr VLR jest najczęściej umieszczany przy danej centrali MSC. Informacje zapisywane w nim mają charakter zmienny i dotyczą tylko określonego obszaru obsługiwanego przez daną centralę MSC.

---

[30] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 63 - 68

Wśród wielu informacji zapisywanych i magazynowanych w tym rejestrze można wyliczyć dane o użytkowniku, który został wcześniej zarejestrowany w HLR, a który znajduje się obecnie w obszarze obsługiwanym przez VLR.

Głównymi różnicami pomiędzy rejestrem VLR a HLR są następujące aspekty:

- HLR jest rejestrem nadzorującym cały obszar GSM – nie jest przypisany jednemu obszarowi centralowemu, jednej centrali MSC (VLR jest przypisany jednej centrali i śledzi tylko jej obszar - traktuje wszystkie stacje jako „gości" obszaru);
- HLR posiada więcej informacji niezmiennych (stałych) dotyczących wszystkich abonentów systemu GSM (VLR posiada informacje o abonentach znajdujących się aktualnie w obszarze obsługiwanym przez przypisaną jemu centralę typu MSC);
- HLR kontaktuje się z wieloma VLR przypisanymi konkretnym obszarom, zawsze gdy potrzebuje uaktualnienia informacji o lokalizacji danego abonenta (VLR zawsze korzysta z informacji zawartych w HLR, gdy nowy abonent wkroczy w zasięg obsługiwanego przez niego obszaru);
- HLR chcąc skontaktować się z daną stacją ruchomą zawsze musi skorzystać z pomocy (aktualnej informacji). Jeżeli abonent nie wychodzi poza obsługiwany obszar, VLR może realizować wiele funkcji informacyjnych bez odwoływania się do HLR;
- Dane w HLR są mniej szczegółowe niż te zawarte w VLR.

Ad h) Centrum identyfikacji AuC

Bazy danych typu centrum identyfikacji AuC oraz rejestr identyfikacji wyposażenia EIR są elementami zapobiegania nadużyciom w sieci.

Centrum AuC zawiera niejawne algorytmy systemowe oraz klucze identyfikacyjne abonentów systemu. Jest to więc wydzielona część niejawnych procedur z rejestru HLR. Stąd też wynika potrzeba bezpośredniego i częstego kontaktowania się rejestru HLR z modułem AuC. (centrum AuC jest bezpośrednio skomunikowanie z rejestratorami HLR). To powoduje, że w HLR przechowywany jest klucz, liczba pseudolosowa, liczba wynikowa dla danego abonenta.

Proces identyfikacji autentyczności abonenta z wykorzystaniem centrum AuC oraz HLR i stacji ruchomej, przebiega następująco:

1. Abonent w momencie rejestracji otrzymuje (przypisuje się jemu) numer identyfikacyjny oraz klucz do kodowania i rozkodowywania. Będą one przechowywane w AuC oraz w SIM abonenta.
2. Abonent włącza aparat.

3. Następuje komunikacja MSC poprzez BSC ze stacją mobilną.
4. Centrala MSC otrzymuje od centrum AuC wygenerowane dane - klucz danego abonenta, wygenerowaną liczbę pseudolosową do sprawdzenia tożsamości abonenta;
5. Stacja abonenta i AuC dokonują działań na liczbie pseudolosowej z wykorzystaniem algorytmu z klucza.
6. Wyniki obu równoległych operacji zostają porównane w AuC, które otrzymuje poprzez MSC taki wynik od stacji ruchomej.
7. Pozytywne informacja lub negatywna wynikająca z porównania tych działań zostaje skierowana do MSC, która zestawia dane połączenie rozmówne lub nie.

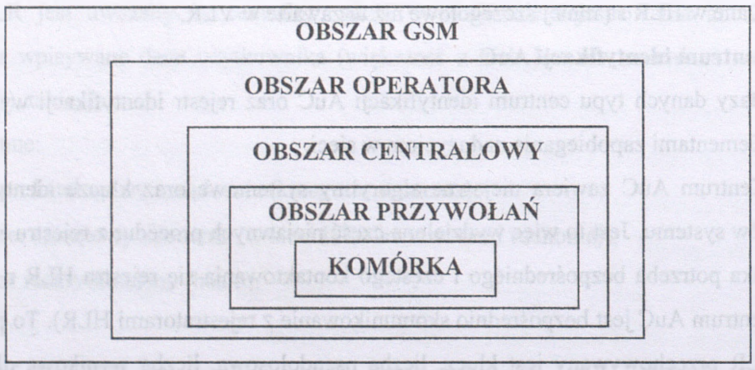
Ad i) Rejestr EIR

Inny przykład rejestru to EIR, który służy do identyfikacji sprzętowej, np. stacji ruchomych.

5.3. Procedury systemowe GSM

Podstawą funkcjonowania systemu GSM jest jego hierarchiczna struktura przestrzenna. Struktura ta pozwala, przede wszystkim, śledzić efektywnie ruch terminali ruchomych.

Na poniższym rysunku przedstawiono istotę takiej struktury hierarchicznej systemu telefonii komórkowej GSM.



Rys. 5.4. Struktura hierarchiczna systemu telefonii komórkowej GSM
Źródło: opracowanie własne

Wzajemne powiązania między wyodrębnionymi powyżej obszarami przebiegają następująco:

- obszar funkcjonowania telekomunikacji składa się z obszarów poszczególnych operatorów, które często lub w znacznej części nakładają się;
- obszar działania jednego operatora (telefonii komórkowej) dzieli się na kilka obszarów centralowych;

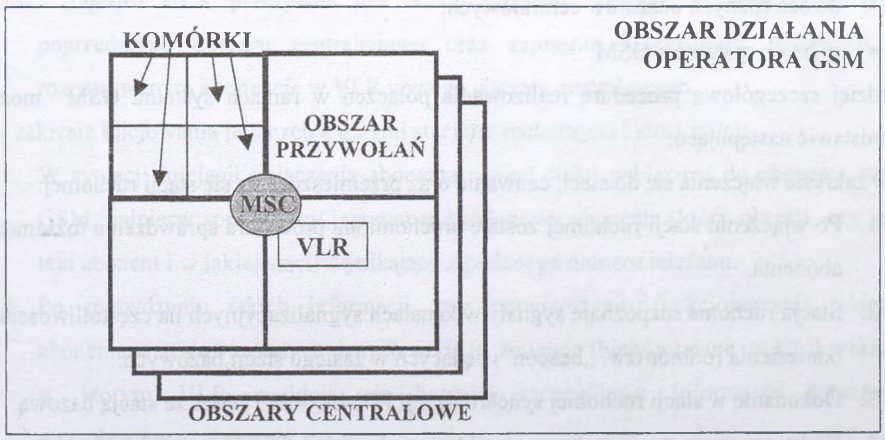
- obszar centralowy jest obsługiwany przez jedną centralę MSC oraz przypisany jej rejestr VLR;
- do każdej centrali podłączona jest pewna liczba sterowników stacji bazowych;
- w każdym obszarze centralowym wyodrębnia się kilka obszarów przywołań;
- obszary przywołań dzieli się na komórki;
- każdej komórce przypisana jest jedna stacja bazowa.

Należy tutaj zaznaczyć, iż obszar przywołań powstał jako kompromis pomiędzy dwoma następującymi uwarunkowaniami:

- ilością przesyłanej informacji;
- dokładnością / rozległością przesyłania informacji (np. przywołań).

W konsekwencji – ruch abonentów śledziony jest z dokładnością do obszaru przywołań. Oznacza to, że gdy dokonywana jest zmiana obszaru przywołań przez stację ruchomą to zmiany jej położenia są podawane za pośrednictwem stacji bazowej i jej sterowniki do centrali MSC i uaktualniane w HLR i VLR,. Sygnał zmiany obszaru przywołań emituje stacja ruchoma.

Na poniższym rysunku przedstawiono rodzaje obszarów działania sieci GSM.



Rys. 5.5. Struktura sieci GSM w ujęciu schematycznym
Źródło: opracowanie własne

Ogólna procedura realizacji połączenia w sieci GSM wygląda następująco:

1. Przemieszczenia stacji ruchomej są śledzone, jak wykazano wcześniej, z dokładnością do obszaru przywołań, co oznacza, że stacja ruchoma sygnalizuje zmianę obszaru przywołań.

2. Inna stacja ruchoma lub abonent sieci stałej wywołuje rozpatrywanego abonenta stacji ruchomej.
3. Centrala systemu MSC rozsyła poprzez łącza stałe sygnały przywoławcze do wszystkich stacji bazowych pracujących w danym obszarze przywołań, w którym znajduje się stacja ruchoma.
4. Stacje bazowe w specjalnym kanale przywoławczym przesyłają sygnały wywoławcze.
5. Stacja ruchoma po rozpoznaniu swojego sygnału identyfikacyjnego odpowiada na sygnał wywoławczy.
6. Stacja bazowa na podstawie potwierdzenia odbioru własnego sygnału identyfikacyjnego przez stację ruchomą - zestawia połączenie (przydziela częstotliwość i kanał) pomiędzy stacjami.

Znacznie bardziej skomplikowana jest sytuacja korzystania z usług sieci niemacierzystej. Uogólniając, można stwierdzić, że najczęściej wyodrębnia się cztery podstawowe sytuacje związane z realizacją połączeń, czyli w ramach:

- tego samego sterownika stacji bazowej (podobnie jak dla tej samej stacji bazowej);
- tego samego obszaru centralowego;
- dwóch różnych obszarów centralowych;
- różnych systemów GSM.

Bardziej szczegółową procedurę realizowania połączeń w ramach systemu GSM można przedstawić następująco:

a) w zakresie włączenia się do sieci, czuwania oraz przemieszczania się stacji ruchomej:

1. Po włączeniu stacji ruchomej zostaje uruchomiona procedura sprawdzenia tożsamości abonenta.
2. Stacja ruchoma rozpoznaje sygnały w kanałach sygnalizacyjnych na częstotliwościach odniesienia (odbiór tzw. „beacon") będących w zasięgu stacji bazowych.
3. Dokonanie w stacji ruchomej synchronizacji FDMA oraz TDMA ze stacją bazową.
4. Wybranie przez stację ruchomą stacji bazowej o najsilniejszym sygnale.
5. Rozpoznanie sygnału identyfikacyjnego tej stacji bazowej.
6. W przypadku, gdy jest taki sam obszar przywołań co przed wyłączeniem terminala ruchomego to w rejestrze VLR zmienia się tylko informacja ze stanu „wyłączony' na „włączony".
7. W czasie czuwania stacja ruchoma cały czas uczestniczy w wymianie informacji sygnalizacyjnych w kanale częstotliwości odniesienia najbliższej stacji bazowej.

8. Równocześnie odbiera takie sygnały od innych stacji bazowych „będących w zasięgu" na ich częstotliwościach odniesienia.
9. Co jakiś czas, w trakcie czuwania stacja ruchoma wysyła informację do stacji bazowej o gotowości do pracy. W przypadku nie otrzymania takiego potwierdzenia przez stację bazową w rejestrze VLR, taka stacja ruchoma jest zaznaczana jako wyłączona.
10. Stacja ruchoma przełącza się na inną z odbieranych częstotliwości odniesienia, gdy przemieszczając się znajdzie się bliżej innej stacji bazowej (jest to decyzja „samodzielna" stacji ruchomej).
11. W sytuacji, gdy stacja ruchoma funkcjonująca w stanie czuwania zmieni nie tylko stację bazową, ale też obszar przywołań, wtedy po odebraniu identyfikatora obszaru z nowej stacji bazowej, stacja ruchoma wysyła informację do rejestru VLR, gdzie informacje o lokalizacji abonenta zostają uaktualnione.
12. W przypadku nie tylko zmiany obszaru przywołań przez stację ruchomą, ale też obszaru centralowego (a więc centrali MSC wraz z przypisanym jej rejestrem VLR), nowa stacja bazowa przesyła informację o pojawieniu się rozpatrywanego abonenta ruchomego do rejestru HLR.
13. Z rejestru HLR przesyłane jest wtedy polecenie skasowania danych w VLR poprzedniego obszaru centralowego oraz zapisanie niezbędnych informacji o rozpatrywanym abonencie w VLR nowego obszaru centralowego.

b) w zakresie inicjowania połączeń z innymi stacjami ruchomymi i sieci stałej:

1. W sytuacji inicjacji połączenia abonenta z sieci stałej publicznej do abonenta sieci GSM, najpierw sprawdzany jest numer katalogowy abonenta (który określa, czy jest taki abonent i w jakiej sieci) wynikający z podanego numeru telefonu.
2. Po sprawdzeniu takich informacji oraz potwierdzeniu funkcjonowania takiego abonenta w zestawie stałych danych w HLR, zmienne (bieżące) dane w HLR wskażą w którym VLR znajdują się bardziej szczegółowe informacje dotyczące wywoływanego abonenta.
3. W VLR przede wszystkim zostanie wskazany właściwy aktualnemu położeniu wywołanego abonenta, obszar przywołań.
4. Rejestr HLR po uzyskaniu niezbędnych informacji dotyczących numeracji abonenta sieci stałej publicznej, zwraca się z żądaniem do VLR przydzielenia odpowiednich danych numerowych dla zestawionego połączenia.
5. Następnie zostaje zestawione połączenie.

c) w zakresie inicjowania połączeń od innych stacji ruchomych i sieci stałej:

1. W sytuacji odwrotnej, gdy abonent ruchomy wywołuje inną stację, stacja ta wysyła do centrali MSC żądanie dostępu.
2. Centrala MSC sprawdza uprawnienia stacji ruchomej, zmienia jego status w VLR na „stację włączoną", potwierdza dostęp.
3. Stacja ruchoma przesyła do centrali MSC numer wywoływanego abonenta, żąda zestawienia z nim połączenia.
4. Numer żądanego abonenta jest analizowany w MSC (abonent tej samej sieci) lub przekazywany przez GMSC do sieci zewnętrznej.
5. Następuje zestawienie połączenia i prowadzenie rozmowy.

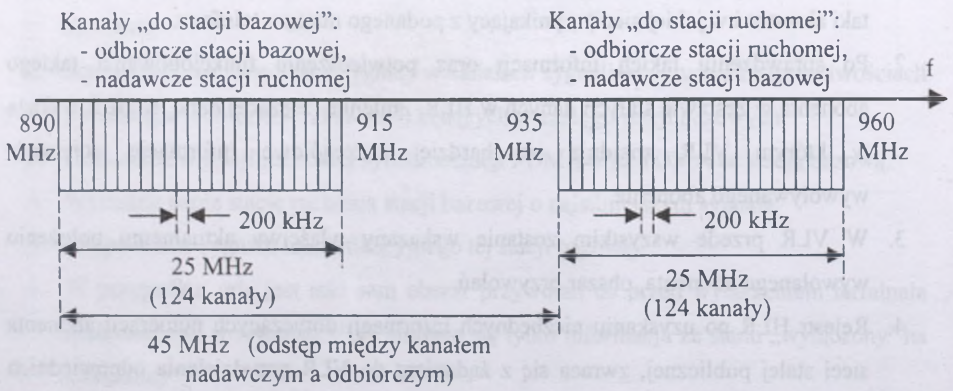
5.4. Charakterystyka transmisji systemu GSM w kanale radiowym

Transmisję w kanale radiowym w systemie GSM można przeanalizować dla dwóch zasadniczych obszarów:

- dla podsystemu GSM 900 MHz charakteryzującego się większymi komórkami;
- dla podsystemu GSM 1800 MHz charakteryzującego się mniejszymi, wręcz małymi komórkami.

Dla podsystemu GSM 900 MHz można wyodrębnić dwa podzakresy o odległości 45 MHz - dla pracy ze stacji ruchomej do bazowej oraz w drugą stronę, każdy o szerokości 25 MHz, gdzie rozmieszczono kanały co 200 kHz (co daje 124 kanały).

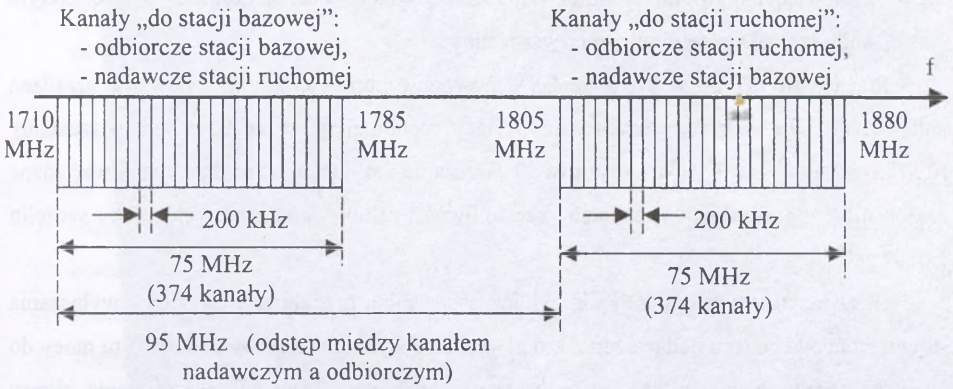
Na poniższym rysunku przedstawiono strukturę wykorzystywanych podzakresów częstotliwości przez podsystem GSM 900.



Rys. 5.6. Struktura przydzielonego podzakresu częstotliwości dla GSM 900 MHz
Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 37

Dla podsystemu GSM (DCS) 1800 MHz można wyodrębnić dwa podzakresy o odległości 95 MHz, każdy o szerokości 75 MHz, gdzie rozmieszczono kanały również co 100 kHz. Daje to 885 kanałów, co wynika z większej szerokości przydzielonych podsystemowi podzakresów częstotliwości.

Na poniższym rysunku przedstawiono strukturę wykorzystywanego podzakresu częstotliwości przez podsystem GSM 1800.



Rys. 5.7. Struktura przydzielonego podzakresu częstotliwości dla GSM 1800 MHz
Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, A. Różański, ... op. cit., s 37

W obu podsystemach zastosowano wielodostęp częstotliwościowy FDMA (oddzielny kanał do pracy „w górę", oddzielny do pracy „w dół") oraz czasowy TDMA (8 kanałów fizycznych).

5.5. Kanały fizyczne w GSM

Na potencjał radiowy systemu GSM składa się zestaw szczelin czasowo-częstotliwościowych, każda przeznaczona do przesłania jednego pakietu informacji, gdzie:

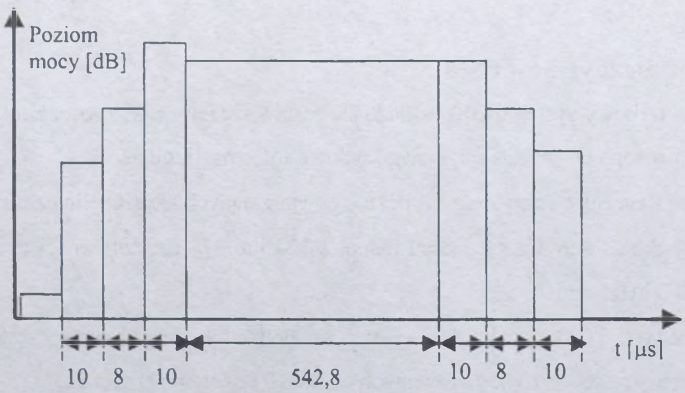
- kanał fizyczny tworzy ciąg cyklicznie powtarzających się szczelin czasowych;
- wszystko to odbywa się wokół jednej z 124 lub 374 częstotliwości rozmieszczonych co 200 kHz;
- praca typu TDMA realizowana jest przez podział każdego kanału częstotliwości na 8 szczelin czasowych (numerowanych od 0 do 7) tworzących ramkę;
- czas trwania jednej szczeliny czasowej został w systemie określony na 577 μs (czyli 15/26 ms);

- długość ramki wynosi 4615 s (8 x 577 μs), co oznacza, że każdy ciąg szczelin (każda o czasie trwania 577 μs) jest przeplatany odstępami rzędu 4038 ms, gdzie co 4615 ms wysyłany jest pakiet w kierunku do lub od stacji ruchomej;
- dzięki specjalnie wprowadzonemu opóźnieniu nadawania stacji ruchomej do odbioru o trzy szczeliny czasowe następuje przesunięcie tych procesów o 1731 ms, co pozwala na pracę dupleksową (przesunięcie o trzy szczeliny transmisji „w górę" oraz „w dół"). Tak więc nadawanie i odbiór odbywa się w tej samej szczelinie (o tym samym numerze), ale przesuniętej o trzy szczeliny.

Praca typu TDMA w systemie GSM powoduje impulsowe funkcjonowanie urządzeń nadawczych. Tor nadawczy włącza się w stacji ruchomej tylko na okres jednej szczeliny (0,577 ms / 4,615 ms). Taka częstotliwość włączania i wyłączania, może powodować różne zakłócenia w sąsiednich kanałach częstotliwości (lub harmonicznych) lub szczelin czasowych.

W związku z tym realizuje się cykliczną specjalną procedurę włączania / wyłączania stopnia końcowego toru nadawczego, której struktura wymaga stopniowego wzrostu mocy do poziomu nomimalnego, w którym przesyłane są pakiety informacji (czas trwania okresu nominalnego wynosi 542,8 μs). Przed tym okresem i po nim następują odcinki czasowe po 28 μs stopniowego podwyższania i zmniejszania mocy wyjściowej toru nadawczego.

Zjawisko stopniowego zwiększania mocy wyjściowej stopnia końcowego toru nadawczego w urządzeniu radiowym GSM przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 5.8. Przykład przebiegu czasowego włączania i wyłączania stopnia wyjściowego mocy w toru nadawczym urządzeniu GSM
Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 120

5.6. Typy pakietów w GSM

Kanał fizyczny powstaje przez nadawanie na tej samej częstotliwości i w tej samej szczelinie czasowej (przypominamy, że czas trwania pojedynczej szczeliny czasowej wynosi 577 μs) bloku bitów zwanego pakietem, gdzie:

- czas transmisji pojedynczego bitu w systemie GSM wynosi około 3,69 μs,
- pakiet zawierający 148 bitów trwa 546 μs;
- zachowany jest odstęp 30 μs pomiędzy pakietami (tj. 8,25 odstępu modulacji / bitów po 3,7 μs);
- łączna długość pakietu GSM wynosi 156,25 bitów.

W GSM istnieje 5 typów pakietów, gdzie jeden pakiet podstawowy służy do przesyłania informacji użytkownika (rozmowy lub danych). Są to następujące rodzaje pakietów:

a) podstawowe;
b) korekcji częstotliwości;
c) synchronizacji;
d) dostępu;
e) zastępczy.

Ad a) W skład pakietu podstawowego wchodzą:[31]

- **Bity informacyjne** – dwa takie bloki po 57 bitów (zabezpieczenie przed błędami i zaszyfrowana transmisja mowy i danych użytkownika);
- **Sekwencja treningowa** – ciąg 26 bitów służący kompensacji zniekształceń, szczególnie wynikających z wielodrogowości sygnału. Umieszczenie tego ciągu pośrodku (pomiędzy) bitami informacyjnymi jest więc bardzo celowe;
- **Znaczniki podstawiania** – po jednym bicie przed i po sekwencji treningowej. W przypadku potrzeby ominięcia sekwencji informacyjnej, (np. podczas przełączania kanałów) bity te pozwalają zachować ogólną informację o strukturze pakietu;
- **Bity końcowe** – dwa bloki po 3 bity na końcu i na początku pakietu, najczęściej nadawane w formie „0" w celu ułatwienia korekcji kanału radiowego i rozplotu;
- **Odstęp chroniony** – odstęp 30 μs pomiędzy bitami różnych pakietami (wynikający z czasu włączania i wyłączania nadajników – z ich pracy impulsowej);

Ad b) pakiet korekcji częstotliwości – ciąg 142 bitów „0" w jednej szczelinie czasowej służący synchronizacji częstotliwości generatorów lokalnych w urządzeniu ruchomym z częstotliwością generatorów w stacji bazowej. Jest w tym czasie nadawany sygnał

[31] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 121

sinusoidalny o niemodulowanej nośnej (co oznacza przesłanie w szczelinie czasowej samych zer). Przedział ochronny oraz bity końcowe są takie same jak w pakiecie podstawowym.

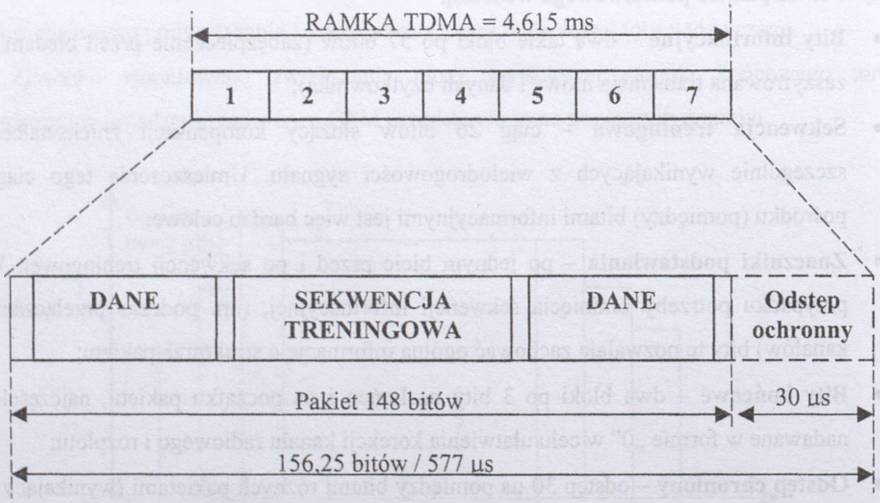
Ad c) pakiet synchronizacyjny – służy synchronizacji drugiego rodzaju – ramkowej. Blok sekwencji synchronizacyjnej zawiera 64 bity poprzedzone i kontynuowane blokami informacyjnymi po 39 bitów (np. z numerem ramki TDMA) będącymi kluczem odszyfrowywującym informacje w pakiecie podstawowym;

Ad d) pakiet dostępu - odstęp ochronny jest specjalnie wydłużony w celu uwzględnienia opóźnienia sygnału. Długość odstępu uwzględnia to, aby pakiet dostępu nie nakładał się na informacje nadawane w innych pakietach. Czas trwania przedziału ochronnego wynosi 68,25 bitów x 3,69 μs = 252 μs, tj. 75,5 kilometra dla fali radiowej, co z kolei daje dystans łączności 37,75 kilometrów (dla uproszenia przyjmuje się promień komórki 35 kilometrów).

Ad e) pakiet zastępczy – struktura jest taka sama jak podstawowego, ale nie niosący informacji.

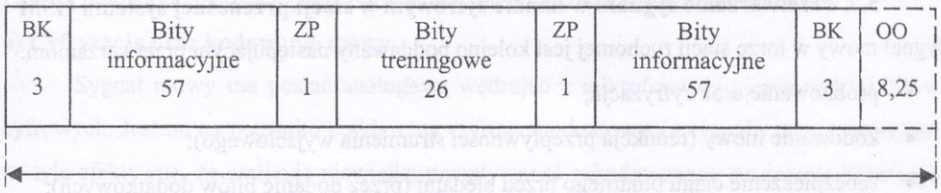
Na rysunku 5.10. zagregowano schematycznie pięć podstawowych rodzajów pakietów stosowanych w GSM.

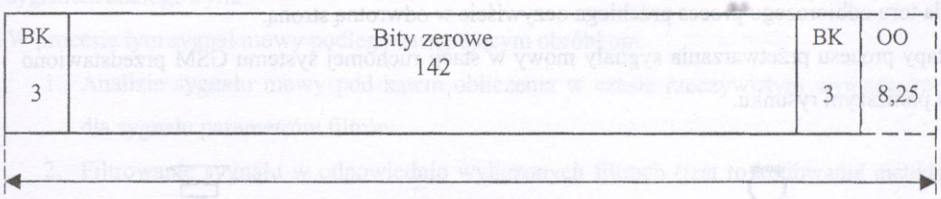
Na poniższym rysunku przedstawiono strukturę ramki złożonej z tak tworzonych pakietów.

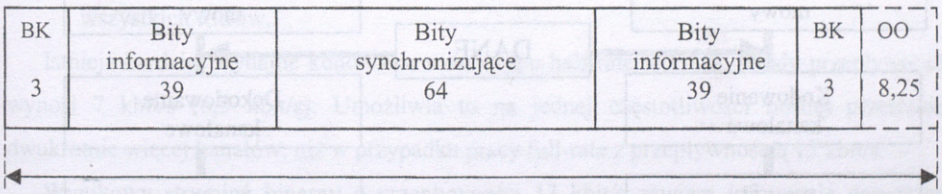


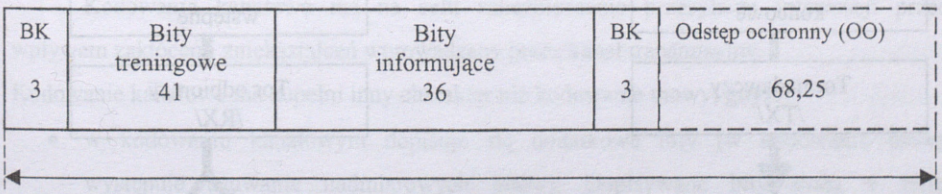
Rys. 5.9. Struktura szczeliny czasowej w ramce TDMA w GSM

Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 121









Rys. 5.10. Struktura pakietów w GSM: a) pakiet podstawowy, b) pakiet korekcji częstotliwości, c) pakiet synchronizacyjny, d) pakiet dostępu.
BK – bity końcowe , OO – odstęp ochronny, ZP – znacznik podstawienia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 121-124

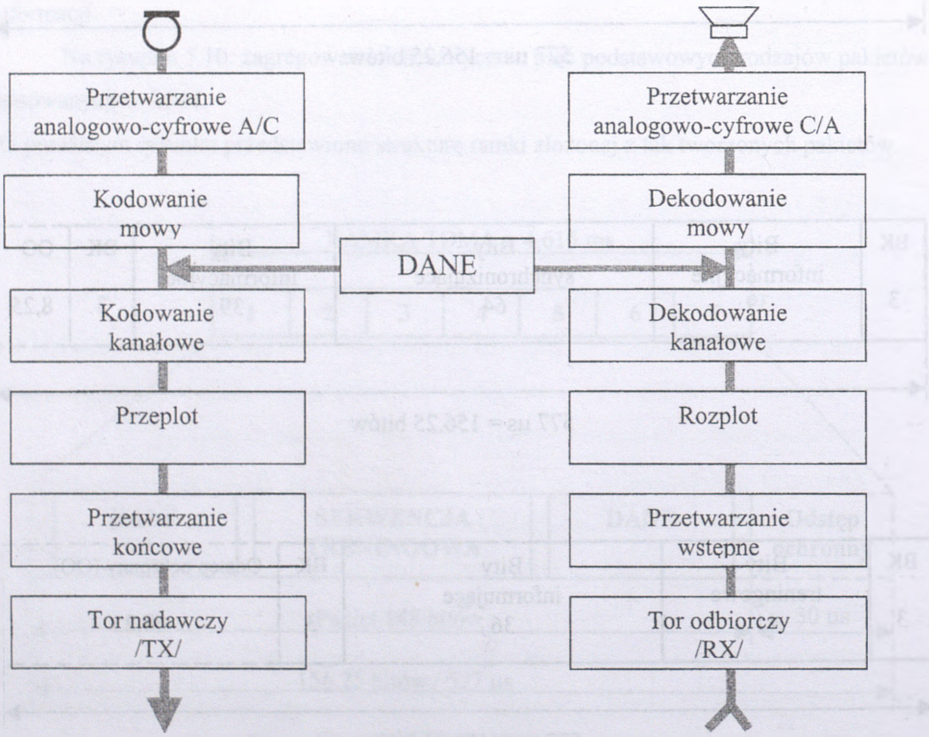
5.7. Przetwarzanie sygnału w kanale cyfrowym w stacji przenośnej systemu GSM

Sygnał mowy w torze stacji ruchomej jest kolejno poddawany następującym przetwarzaniom:

- próbkowanie oraz cyfryzacja;
- kodowanie mowy (redukcja przepływności strumienia wyjściowego);
- zabezpieczenie ciągu binarnego przed błędami (przez dodanie bitów dodatkowych);
- przeplot bitowy i blokowy;
- szyfrowanie, w celu zabezpieczenia systemu przed niepowołanym dostępem;
- modulowanie częstotliwości z kształtowaniem impulsów częstotliwości nośnych.

Dla toru odbiorczego proces przebiega oczywiście w odwrotną stroną.

Etapy procesu przetwarzania sygnały mowy w stacji ruchomej systemu GSM przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 5.11. Kolejność procesu dotyczącego przetwarzania sygnału mowy w terminalu ruchomym systemu GSM

Źródło: Opracowanie własne J. Kołakowski, J. Cichocki, UMTS. System telefonii komórkowej trzeciej generacji, WKŁ, Warszawa 2003, S. 21

Poniżej omówiono pokrótce poszczególne fazy przetwarzania sygnału mowy

a) Cyfryzacja oraz kodowanie mowy

Sygnał mowy ma postać analogową wędrując z mikrofonu do pierwszych układów cyfrowych. Jest on na początku poddawany cyfrowemu kodowaniu sygnału mowy, które jest na tyle efektywne, że realizuje niewielką przepływność zakodowanego strumienia binarnego (co jest wymagane przez kanał radiowy). Kompresja mowy w GSM polega na algorytmach innego typu niż w PCM czy Detla, gdyż należy spełnić warunek przepływności binarnej do 13 kbit/s. Istotnym założeniem spełnianym przy tego typu obróbce jest jakość porównywalna z sygnałem analogowym.

W procesie tym sygnał mowy podlega następującym obróbkom:

1. Analizie sygnału mowy pod kątem obliczenia w czasie rzeczywistym wymaganych dla sygnału parametrów filtrów.
2. Filtrowanie sygnału w odpowiednio wyliczonych filtrach (jest to kodowanie metodą filtrową).
3. Po podwójnej procedurze analizy i filtrowania następuje próbkowanie sygnału z częstością 8 kHz.
4. Po tym uzyskuje się sygnał wyjściowy w postaci spróbkowanej wraz z parametrami wszystkich filtrów.

Istnieje bardziej wydajne kodowanie mowy typu half-rate w GSM, wtedy przepływność wynosi 7 kbit/s (6,5 kbit/s). Umożliwia to na jednej częstotliwości nośnej przesłanie dwukrotnie więcej kanałów, niż w przypadku pracy full-rate z przepływnością 13 kbit/s.

Wynikowy strumień binarny o przepływności 13 kbit/s zawiera informacje dotyczące parametrów filtrów (około 30 %) oraz zakodowanych próbkach sygnału (około 70 %).

b) Kodowanie kanałowe

Kodowanie kanałowe ma na celu zabezpieczenie przesyłanej informacji przed wpływem zakłóceń i zniekształceń wprowadzany przez kanał transmisyjny.

Kodowanie kanałowe ma zupełni inny charakter niż kodowanie mowy, gdyż:

- w kodowaniu kanałowym dopisuje się dodatkowe bity (w kodowaniu mowy występuje usuwanie nadmiarowych bitów). Dopisywane bity służą w torze odbiorczym w układzie dekodera kanałowego do poprawiania błędów;
- waga bitów wynikowego strumienia binarnego jest różna (najważniejsze bity kodowane są dwukrotnie, mniej ważne jednokrotnie, inne – w ogóle);
- sprawność koderów protekcyjnych zabezpieczających zakodowany sygnał mowy wynosi 57 %, co daje po kodowaniu przepływność sygnału rzędu 22,8 kbit/s.

Funkcje kodowania protekcyjnego jest następnie uzupełniania przez przeplot.

c) Przeplot

Przeplot jest procesem realizującym następujące czynności:

- poprzestawianie bitów sąsiednich w taki sposób, aby nie były transmitowane po kolei;
- rozproszenie w szerokim przedziale czasowym bitów odpowiadających fragmentom mowy w celu uniknięcia błędów paczkowych.[32] W wyniku takiego procesu fragment mowy o długości 20 ms rozciągany jest do 33 ms z zastosowaniem kolejno przeplotu bitowego i pakietowego.

d) Przetwarzanie końcowe

Po kodowaniu protekcyjnym i przeplocie następuje ostateczne formatowanie pakietów, czyli przygotowanie sekwencji bitowej do transmisji w kanale radiowym. Ten etap składa się z dwóch zasadniczych podprocesów:

1. Szyfrowanie.
2. Końcowe formatowanie pakietów.

Ostateczne formatowanie pakietów polega na dodaniu do bitów informacyjnych:

- sekwencji treningowej;
- dwóch znaczników dotyczących zawartości bloku bitów informacyjnych (dane rozmówne lub sygnalizacja);
- bitów końcowych na początku oraz na końcu pakietu.

Ad e) Modulacja

W systemie GSM stosuje się modulację GMSK (ang. Gaussian Minimum Shift Keying) z parametrem BT = 0,3.

Modulacja GMSK jest rodzajem modulacji MSK (ang. Minimum Shift Keying) z binarnymi sygnałami z ciągłą fazą.

Jak wspomniano wcześniej oraz jak wynika z rysunku 5.11. sygnał odbierany jest poddawany podobnemu procesowi w odwrotnej kolejności, czyli: po obróbce przemiany częstotliwości w torze odbiorczym, detekcji / demodulacji, rozplotowi, rozkodowaniu kanałowemu i mowy oraz przetworzeniu do postaci sterującej głośnik.

---

[32] Błędy paczkowe – wynikają z przesyłania informacji drogą radiową, gdzie często, np. z powodu zaniku propagacyjnego, występuje utrata nawet kilkudziesięciu kolejno przesyłanych bitów

5.8. Efektywne wykorzystanie potencjału radiowego w GSM

W telefonii GSM zastosowano wiele narzędzi zwiększających wykorzystanie potencjału radiowego systemu. Takimi czynnikami są, np. omówione wcześniej liczne kodowania sygnału oraz sama jego modulacja Na zasób ten lub potencjał składają się również inne czynniki, takie jak:[33]

a) szybka zmiana częstotliwości;
b) adaptacyjne sterowanie mocą wyjściowa torów nadawczych urządzeń;
c) transmisja z wyprzedzeniem;
d) transmisja przerywana.

Ad a) Szybka zmiana częstotliwości

Szybka zmiana częstotliwości, zwana z ang. hoppingiem częstotliwości FH (ang. Frequency Hopping) znana z wcześniejszych zastosowań czysto wojskowych, pozwala w systemie GSM na funkcjonowanie z dużą odpornością na zakłócenia. Jest to jedna z dwóch technik pracy z poszerzonym widmem. Szybka zmiana częstotliwości polega na zmianie pseudolosowej wartości częstotliwości nośnej ze znaczną prędkością, gdzie jej wartości rzędu:

- kilkudziesięciu zmian na sekundę – nazywane są hoppingiem adaptacyjnym;
- kilkuset zmian na sekundę – nazywane średnim hoppingiem;
- ponad tysiąc na sekundę – nazywane jest szybkim hoppingiem i takie wartości są realizowane w zakresie powyżej 30 MHz, w tym telefonii komórkowej.

Sygnał wykorzystujący FH nabiera charakteru sygnału pseudoszumowego.

Odmianą pracy FH jest dostęp typu CDMA (ang. - Code Division Multiple Access) – zajmujący pewien przedział czasu i częstotliwości.

Celem zastosowania techniki FH w telefonii komórkowej było, przede wszystkim:

- większe uniezależnienie się od chwilowych zmian jakości transmisji na jednej częstotliwości;
- zmniejszenie interferencji współkanałowych w sąsiednich komórkach.

W FH statystyczne cechy propagacyjne ulegają uśrednieniu, przy czym jakość w poszczególnych kanałach fizycznych jest prawie podobna.Technika FH pozwala również równomiernie wykorzystywać przydzielony zasób radiowy. W sytuacjach rzeczywistych w GSM, FH nie musi być cały czas realizowany, ale taką możliwość musi posiadać stacja ruchoma i bazowa. Każda stacja ruchoma musi więc posiadać możliwość zmiany częstotliwości na polecenie otrzymane od stacji bazowej. Polecenie wraz z algorytmem takiej

[33] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 155

pracy (a tak naprawdę z numerem algorytmu) są podawane przez stację bazową do stacji ruchomej, np. w przypadku pogorszenia się jakości łączności.

Istnieje kilka typów algorytmów stosowanych w takich sytuacjach. Najbardziej rozpowszechnionymi są następujące:

- algorytmy cykliczne – polegające na wyborze kolejnych częstotliwości z posiadanego zbioru;
- algorytmy pseudolosowe – polegające na wyborze według pewnej sekwencji pseudolosowej.

Zestawy częstotliwości w ramach których stacja ruchoma i stacja bazowa zmieniają swoje wartości pracy, mogą być tworzone niezależnie dla każdej szczeliny czasowej.

Częstotliwości stacji bazowej, na której w zerowej szczelinie czasowej przekazywane są informacje sygnalizacyjne pozostają nawet w pracy typu FH niezmienne.

Ad b) Sterowanie mocą (praca adaptacyjna)

Sterowanie mocą toru nadawczego urządzenia GSM ma na celu dynamiczne dopasowywanie mocy sygnału emitowanego w kanale radiowym w zależności do zmieniającej się odległości między nadajnikiem i odbiornikiem (w zależności od zmierzonego w odbiorniku poziomu odbieranego sygnału). Procedura adaptacyjnej pracy toru nadawczego jest uzależniona od oceny jakości transmisji, poprzez:

- pomiar mocy odbieranego sygnału przez oba rodzaje stacji – ruchomą i bazową;
- pomiar stopy błędów sygnału odbieranego od stacji ruchomej przez stację bazową.

Na ich podstawie sterownik stacji bazowej wydaje polecenia regulacji mocy sygnału wyjściowego przez tory nadawcze obu stacji. Jest to więc takie dobieranie minimalnego poziomu mocy wyjściowej nadajnika, przy którym spełniane są stawiane systemowi wymogi jakościowe. Taka praca adaptacyjna posiada trzy zasadnicze zadania:

- zmniejszenie interferencji międzykanałowych w komórkach i urządzeniach;
- oszczędzenie pracy źródeł zasilania stacji ruchomych;
- zwiększenie bezpieczeństwa użytkownika systemu, np. w paśmie GSM 1800 MHz.

Dla obu kierunków transmisji taka regulacja odbywa się krokowo – np. co 2 dB (najczęściej w zakresie 20 – 30 dB).

Sytuacją bardzo charakterystyczną, która wymusza taką adaptacyjną regulację mocy wyjściowej toru nadawczego urządzenia ruchomego jest jego „przechodzenie" z większej do mniejszej (i odwrotnie) komórki. Takie regulacje mocy mogą, np. być realizowane z wartości 8 W do 20 mW dla pewnych klas stacji przenośnych.

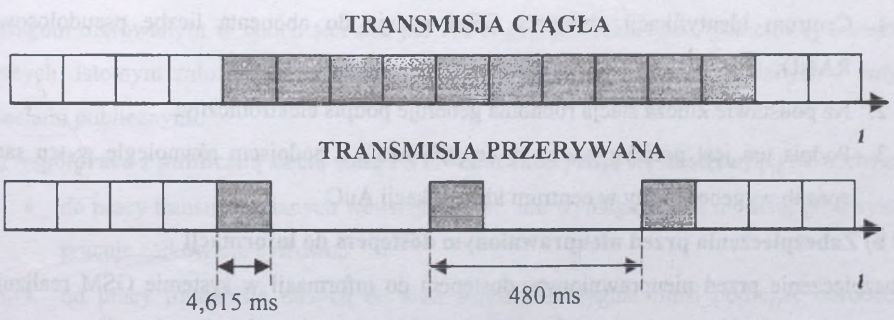
Ad c) Nadawanie z wyprzedzeniem

Nadawanie z wyprzedzeniem występuje, gdy stacja ruchoma oddala się od stacji bazowej. Wtedy przesyłane informacje docierając do stacji bazowej, doznają coraz większego opóźnienia. Może to spowodować nałożenie emisji kanałowej stacji ruchomej bliżej położonej na znajdującą się dalej. W związku z tym w emisji sygnału musi być stosowane odpowiednie wyprzedzenie. Wyprzedzenie to może przyjmować wartości od 0 do 233 μs, co okazuje się wystarczające dla przyjętych zasięgów w komórce do 35 kilometrów.

Ad d) transmisja przerywana

W pracy w systemie GSM stosuje się pełny dupleks, co oznacza przydzielenie dwóch kanałów do równoległej pracy, tj. „w górę" i „w dół". Badania wykazały[34],że w rzeczywistej pracy około 50 % czasu zestawionego połączenia (praca foniczna z komutacją kanałów) nie jest wykorzystywana (abonent nic nie mówi). Dlatego też, opracowano w systemie GSM specjalną technikę zredukowania wysyłania pakietów, gdy abonent nic nie mówi. Technika ta polega na tzw. transmisji przerywanej. Opiera się ona na odczytywaniu, czy w każdej ramce sygnału wychodzącego z kodera mowy znajduje się bit mówiący o tzw. aktywności abonenta. Proces jego realizacji polega na następujących czynnościach (rysunek 5.12):

1. W czasie aktywności abonenta tor nadawczy nadaje ramki z częstością 50 ramek/s.
2. Jeśli nadajnik rozpozna kilka kolejnych ramek sygnału mowy zawierających jedynie szum, to nadaje tylko pierwszą z nich i następne w odstępach 480 ms (2 ramki/s).
3. Taka emisja jest realizowana, aż do wznowienia tzw. aktywności abonenta.
4. Ramki zawierające parametry szumu tła przesyła się w specjalnych ramkach sygnału mowy SID (ang. Silence Descriptor frames), po odebraniu której w torze odbiorczym dekoder mowy imituje ciągłość połączenia w postaci generacji sygnału szumu.



Rys. 5.12. Zasada transmisji przerywanej
Zaciemnione kwadraty to ramki zawierające szum, białe – ramki sygnału mowy
Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 161

[34] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 161

5.9. Zabezpieczenia w systemie GSM

W systemie GSM zastosowano szereg zabezpieczeń. Do zasadniczych można zaliczyć:

a) zabezpieczenia przed nieuprawnionym dostępem do usług;
b) zabezpieczenia przed nieuprawnionym dostępem do informacji;
c) zabezpieczenia przed użyciem nieuprawnionego sprzętu.

Ad a) Zabezpieczenia przed nieuprawnionym dostępem do usług

Zabezpieczenia przed nieuprawnionym dostępem do sieci są zasadniczym przedsięwzięciem operatorów telefonii komórkowej.

Zabezpieczenie to opiera się na zasadzie elektronicznego podpisu pozwalającego identyfikować abonenta.

Zasada elektronicznego podpisu polega na określeniu algorytmu, który na podstawie dwóch liczb (pierwszej operacyjnej, drugiej klucza) potrafi obliczyć trzecią liczbę, odpowiadającą w sposób określony przez klucz liczbie operacyjnej. Warunkiem powodzenia klucza jest to, aby postronny obserwator posiadając nawet bardzo wiele par liczb operacyjnych i odpowiadających nim liczb wynikowych, nie był w stanie określić klucza.

Procedura identyfikacji abonenta opiera się na algorytmie elektronicznego podpisu. Algorytm generacji podpisu oraz tajny klucz zapisane są w karcie SIM. Klucz zostaje przypisany abonentowi w momencie jego pierwszej rejestracji w systemie. Abonent nie zna ani klucza ani algorytmu. Posługiwanie się modułem SIM jest realizowane poprzez wpisanie czterocyfrowego kodu zwanego PIN (ang. Personal Identity Number). Zablokowanie SIM z powodu trzykrotnie błędnie wpisanego kodu PIN można anulować kodem PUK (ang. Personal Unblocking Key).

Proces identyfikacji abonenta przebiega następująco:

1. Centrum identyfikacji abonenta GSM nadaje do abonenta liczbę pseudolosową RAND;
2. Na podstawie klucza stacja ruchoma generuje podpis elektroniczny;
3. Podpis ten jest porównywalny w centrali MSC z podpisem równolegle w ten sam sposób wygenerowany w centrum identyfikacji AuC.

Ad b) Zabezpieczenia przed nieuprawnionym dostępem do informacji

Zabezpieczenie przed nieuprawnionym dostępem do informacji w systemie GSM realizuje się, przede wszystkim, poprzez szyfrowanie sygnałów przesyłanych w kanale radiowym.

5.10. Usługi realizowane w systemie GSM

Styk abonenta z systemem GSM jest realizowany w dwóch obszarach:

- sprzętowym (korzystanie z oferowanych przez system oraz producentów urządzeń pracujących lub wspierających funkcjonowanie w systemie);
- usługowym (korzystanie z oferowanych przez system różnych możliwości wykorzystania posiadanych urządzeń).

W obszarze sprzętowym są to telefony komórkowe, przystawki do tych terminali, zestawy zasilające, zestawy głośnomówiące, itp.

Do najbardziej znanych usług oferowanych w systemie GSM, są:

- transmisja mowy;
- transmisja danych (w tym szybka transmisja danych z komutacją kanałów i pakietów);
- transmisja krótkich informacji;
- transmisja zintegrowanych usług multimedialnych.

5.10.1. Transmisja mowy

Mimo usilnych działań marketingowych operatorów sieci komórkowych jak i producentów telefonów komórkowych promujących inne rodzaje pracy niż rozmowy telefoniczne, dalej transmisja mowy jest podstawowym sposobem komunikowania poprzez telefon komórkowy. Wszakże telefon komórkowy powstał, aby komunikować fonicznie, i chyba tak jeszcze długo pozostanie. Transmisja mowy oparta jest na skomplikowanych sposobach kodowania mowy, kanału radiowego, stosowaniu przeplotu i nowoczesnej modulacji GMSK.

5.10.2. Transmisja danych

Celem transmisji danych w systemie telefonii komórkowej jest dorównanie tego typu usługom oferowanym w takich sieciach jak ISDN czy publiczne sieci pakietowej transmisji danych. Istotnym założeniem było współdziałanie w obszarze transmisji danych z innymi sieciami publicznymi.

a) współpraca z publiczną siecią stałą PSTN charakteryzują się następującymi cechami:

- do pracy transmisją danych wewnątrz GSM nie wymagany jest modem, gdyż system pracuje całkowicie cyfrowo;
- do pracy transmisją danych do sieci publicznej sygnał musi podlegać obróbce w modemie analogowym w punkcie styku systemu GSM z tą siecią (moduł funkcji sprzęgających IWF w centrali GMSC);
- szybkość transmisji danych nie przekracza 9,6 kbit/s;

- do stacji ruchomej można podłączyć – komputer, faks lub terminal videotekstu;
- wymagane jest zainstalowanie odpowiedniego oprogramowania w komputerze;
- funkcjonowanie jest realizowane na dwa sposoby – poprzez kartę PCMCIA zainstalowaną w komputerze lub bezpośrednio poprzez port szeregowy w komputerze.

b) współpraca z siecią ISDN

W współpracy z siecią ISDN występuje problem szybkości transmisji w GSM do 9,6 kbit/s oraz w ISDN 64 kbit/s. Problem ten rozwiązano ograniczając tę szybkość do oferowanej w sieci GSM;

c) współpraca z siecią pakietowej transmisji danych

Współpraca z siecią pakietowej transmisji danych zależy wiele od możliwości sprzętowych terminala ruchomego. Jest ona realizowana na cztery sposoby: poprzez sieć stałą telefoniczną oraz układ formułowania pakietów, bezpośrednio przez układ formułowania pakietów, bezpośrednio przez łącze X.25 oraz w trybie pakietowym przez sieci ISDN lub PSTN

d) Szybka transmisja danych z komutacją łączy – HSCSD

Dla fazy 2+ systemu GSM przewidziano transmisję danych z komutacją łączy zwaną HSCSD (ang. High Speed Circuit Switched Data). Transmisja ta charakteryzuje się następującymi cechami:[35]

- znacznymi przepływnościami transmisji danych w systemie GSM rzędu 115,2 kbit/s;
- wykorzystanie do transmisji danych przez abonenta kilku kanałów rozmównych (tj. kilku szczelin czasowych w ramce TDMA) w jednym kanale częstotliwościowym. Pozwala to zwiększyć szybkość przesyłania danych z dotychczas oferowanej w sieciach GSM podstawowej - 9,6 kbit/s do prędkości: 14,4 kbit/s, 19,2 kbit/s, 28,8 kbit/s, 38,4 kbit/s, 43,2 kbit/s oraz 56,0 kbit/s. Może nawet wzrosnąć do wartości 8 x 9,6 kbit/s = 76,8 kbit/s, a przy kodowaniu protekcyjnym o większej sprawności do 8 x 14,4 kbit/s = 115,2 kbit/s;
- na czas transmisji sygnał jest rozdzielany na podstrumienie – odpowiadające kanałom fizycznym o przepływnościach odpowiednio 9,6 kbit/s lub 14,4 kbit/s. Po stronie odbiorczej strumienie te są ponownie scalane;
- problematyczne jest jednoczesne nadawania i odbieranie we wszystkich ośmiu szczelinach TDMA co wymaga funkcjonowania dupleksera. Wymusiłoby to zmiany technologiczne we wszystkich telefonach komórkowych lub ograniczenie liczby szczelin TDMA (ograniczenie przepływności, np. do 28,8 kbit/s).

[35] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 188

e) Transmisja danych z komutacją pakietów GRPS (ang. General Packet Radio Services)

Pakietowa transmisja danych GPRS jest techniką przesyłania danych opracowaną na potrzeby sieci GSM. Technika ta uznawana jest za kolejną fazę rozwoju sieci GSM w kierunku trzeciej generacji (UMTS).

Ten rodzaj transmisji charakteryzuje się następującymi cechami:

- w GPRS kanał transmisyjny jest przydzielany na żądanie (inaczej jest w HSCSD);
- komutacja pakietów pozwala na wykorzystanie jednego fizycznego kanału przez kilku użytkowników;
- pakietowy sposób transmisji pozwala na obniżenie opłat abonentów. Użytkownicy sieci płacą tylko za wymienione dane, czyli za ilość [kbit/s] oraz jakość [różne wartości opóźnienia] przesłanej informacji, a nie jak dotychczas za czas trwania sesji;
- ograniczenie sieci GSM, wynikającego z tego, że nie funkcjonuje w niej komutacja pakietów (jest komutacja kanałów) zostało ominięte poprzez instalowanie węzłów pakietowych GSN. Węzły pakietowe są odpowiedzialne za kierowanie pakietów do stacji ruchomych znajdujących się w danym obszarze obsługiwanym;
- w przypadku inicjacji takiej transmisji przez stację ruchomą, węzeł pakietowy przekierowuje taką transmisję do węzłów tranzytowych uzupełniających styk z siecią stacjonarną użytku publicznego;
- w drugą stronę, z sieci stacjonarnej transmisja taka jest kierowana najpierw do węzła tranzytowego, a z niego do odpowiedniego węzła pakietowego oraz dalej stacji ruchomej;
- równoległa praca sieci z komutacją kanałów (poprzez centrale MSC) oraz z komutacja pakietów (z wykorzystaniem GSN) wymaga wymiany informacji pomiędzy centralą i węzłem (chodzi przede wszystkim o uaktualnianie położenia stacji ruchomej w obu bazach danych).

Za pomocą GPRS można realizować takie usługi internetowe, jak: przeglądanie stron WWW (pobieranie danych), poczta elektroniczna, ściąganie plików FTP, usługę telnet (wymiana komunikatów), ściąganie plików MPEG, a nawet telekonferencje.

Obecnie sieci telefonii komórkowej GSM w Polsce poprzez pakietową transmisję danych GPRS oferują następujące usługi:[36]

- korzystanie z poczty elektronicznej poprzez stale otwartą sesję GPRS, poprzez połączenie telefonu z laptopem lub przy użyciu przeglądarki WAP w telefonie;

[36] www.plusgsm.pl

- dostęp do konta bankowego;
- rezerwację miejsc w restauracjach, kinach i teatrach;
- realizację rozmów i pogawędek w sieci (CHAT, IRC, ICQ);
- korzystanie z gier w WAP.

Jakość transmisji GPRS

W celu ułatwienia efektywnego zarządzania usługami GPRS zdefiniowano dwa parametry charakteryzujące ten rodzaj transmisji – szybkość oraz jakość.

Jakość transmisji pakietowej określają następujące wartości opóźnienia dla dwóch długości pakietów:

- wartości średniego opóźnienia transmisji;
- wartości 95 % opóźnienia transmisji.

Na tak zdefiniowane opóźnienie składają się:

- czas oczekiwania na dostęp do kanału radiowego;
- opóźnienie transmisji poprzez tor radiowy GSM;
- opóźnienie w infrastrukturze GPRS.

Na tak zdefiniowane opóźnienie nie składają się:

- opóźnienie generowane przez sieci stałe;
- opóźnienia generowane przez inne sieci radiowe (ruchome).

Zdefiniowane klasy jakości transmisji GPRS dla dwóch wielkości plików przedstawia tab.5.3.

Tab. 5.3. Określenie jakości pakietów o dwóch długościach dla transmisji GPRS w sieci GSM

	Długość pakietu			
Klasa jakości	128 bajtów		1024 bajtów	
	średnie opóźnienie	95 % opóźnienie	średnie opóźnienie	95 % opóźnienie
1.	0,5 s	1,5 s	2 s	7 s
2.	5 s	25 s	15 s	75 s
3.	30 s	250 s	75 s	375 s
4.				

Źródło: opracowanie na podstawie: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 192

W praktyce w obu rodzajach transmisji przepływności nie przekraczają 64 kbit/s, choć założenia mówią, iż dla HSCSD jest to n x 14,4 kbit/s, a dla GPRS jest to n x 21,4 kbit/s. Szybsza transmisja danych będzie możliwa w momencie pojawienia się odpowiednich telefonów.

5.10.3. Przesyłanie krótkich wiadomości

Usługi przesyłania krótkich wiadomości w GSM obejmują, miedzy innymi:

a) krótkie informacje tekstowe SMS;
b) krótkie informacje tekstowo-obrazkowe EMS;
c) krótkie informacje multimedialne MMS;
d) multimedialna transmisja rozsiewcza MBMS

Ad a) Krótkie wiadomości tekstowe SMS (ang. Short Message Service)

Przesyłanie krótkich wiadomości SMS może być realizowane na dwa sposoby:

- w relacji pomiędzy abonentami (point-to-point);
- w sposób dyfuzyjny (ang. broadcast).

Poza tym w usłudze SMS można wyodrębnić:

- transmisję wiadomości inicjowaną przez abonenta – funkcjonująca od początku działania GSM;
- transmisja wiadomości do abonenta – rozwinięta dopiero ostatnio w sieci GSM z funkcją wychodzenia z tego typu inicjatywą z sieci stacjonarnej.

Transmisja SMS realizowana jest w sieci GSM w oparciu o centrum krótkich wiadomości, gdzie każda wiadomość jest zapisywana i przechowywana, aż do momentu jej dostarczenia do adresata lub minięcia terminu jej ważności (narzuconej przez operatora albo wybranej przez abonenta).

Transmisja tego typu wiadomości charakteryzuje się następującymi cechami:[37]

- pole danych zawiera 140 bajtów (w rzeczywistości na samą wiadomość przeznaczone jest 134 bajty, reszta na informacje sterujące);
- jeśli jeden znak jest realizowany przez 7 bitów, to pojedyncza wiadomość może zawierać 160 znaków;
- poszczególne wiadomości mogą być łączone do długości 134 x 255 = 34170 bajtów.

Ad b) Krótkie wiadomości tekstowo-obrazkowe EMS (ang. – Enhanced Message Service)

Transmisja EMS stanowi nowocześniejsze rozwiązania związane z przesyłaniem krótkich wiadomości, które mogą być w postaci:

- tekstu o zróżnicowanym sformatowaniu (rodzaju czcionki, stylu, wielkości);
- obrazków;
- dźwięku;
- krótkich animacji.

---

[37] J. Kołakowski ..., op. cit., s. 47

Ad c) Krótkie wiadomości multimedialne MMS (ang. - Multimedia Message Service)

MMS (ang. Multimedia Messaging Service) to usługa służąca przekazywaniu wiadomości multimedialnych opracowana na potrzeby telefonii komórkowej. Umożliwia komunikację między telefonami, a także między telefonem a dowolnym adresem e-mail (poczty elektronicznej), przez przesyłanie komunikatów, które mogą zawierać oprócz zwykłego tekstu także zdjęcia, dźwięk czy nawet animacje.

Transmisja wiadomości multimedialnych opiera się na treści skomponowanej z różnych mediów – audio, video, tekstu itp.

Transmisja opiera się na takich zasadach przechowywania i przesyłania wiadomości co SMS i EMS, ale wymaga oddzielnego niż SMS aplikacji oraz specjalnego serwera MMS (wraz z MMboxem) i bramki MMS.

W terminalu abonenta musi znajdować się specjalna aplikacja MMS User Agent, która pozwala odpowiednio wiadomość multimedialną stworzyć i wysłać oraz odpowiednio zaprezentować odebraną informacje tego typu. Telefony pozwalające na obsługę wiadomości multimedialnych są wyposażone w kolorowe wyświetlacze (ekrany) z udoskonalonymi parametrami obrazu (znacznie większa rozdzielczość).

Operatorzy GSM oferujący usługę MMS, widzą następujące jej wykorzystanie:[38]

- wysyłanie miniprezentacji, wykresów czy tabel. (otrzymywanie codziennych notowań z giełdy papierów wartościowych, kursów walut itp.);
- usługi rozrywkowe, takie jak elektroniczne kartki, gry interaktywne;
- tradycyjne wiadomości tekstowe mogą zostać wzbogacone o dźwięki, obrazy i inne materiały;
- przesyłanie zrobionego zdjęcia;
- dla odbiorców wiadomości nie mających telefonu obsługującego MMS, operatorzy sieci GSM oferują specjalną stronę internetową, na której mogą oni obejrzeć adresowaną do nich wiadomość multimedialną (dostęp do MMS-a zapewnia specjalne konto i hasło).

W wiadomości MMS można przesłać następujące rodzaje plików:

- pliki audio – typu AMR, MP3, MIDI, WAV;
- pliki graficzne – typu JPEG, GIF, animowany GIF;
- pliki video – typu MPEG4, H.263, Quicktime.

[38] www.plusgsm.pl

d) Multimedialna transmisja rozsiewcza

Multimedialna transmisja rozsiewcza MBMS (ang. Multimedia Broadcasting Multicast Service) jest technologią, tak jak MMS, z pogranicza już telefonii komórkowej trzeciej generacji. Polega ona na przesłaniu informacji pochodzących z jednego źródła do wielu jednocześnie odbiorców. Jest to transmisja realizowana w łączu w dół.

Usługa ta może funkcjonować w dwóch trybach pracy:

- jako transmisja do wszystkich, którzy znaleźli się w zasięgu transmisji informacji i odblokowali możliwość odbioru tych informacji w swoich stacjach ruchomych;
- jako transmisja do wybranych, np. na podstawie subskrypcji, grup odbiorców (taką usługę zaproponowała w lipcu Telewizja Polska w sieci Plus GSM).

Usługa nie jest realizowana z komutacją kanałów, wymaga więc specjalnego centrum BM-S.C. (ang. Broadcast Multicast Service Centre). Centrum to bezpośrednio współdziała w sieci GSM z węzłem pakietowym, z którego korzysta usługa GPRS – czyli GSN oraz GGSN.

5.10.4. Usługi dodatkowe

Do usług dodatkowych realizowanych w sieciach telefonii komórkowej można zaliczyć:

a) teleusługi, a w tym:

- transmisję głosu;
- przesyłanie krótkich wiadomości SMS;

b) usługi przenoszenia, a w tym:

- synchroniczny dostęp do sieci pakietowej (2,4 / 4,8 / 9,6 kbit/s);

c) usługi uzupełniające, a w tym:

- wyświetlanie numeru abonenta;
- blokowanie wyświetlania numeru abonenta wywołującego;
- oczekiwanie na rozmowę – czyli kolejkowanie;
- zawieszenie połączenia, aby rozpocząć inne (priorytetowe);
- realizacja połączeń konferencyjnych;
- zamknięte grupy użytkowników;
- wyświetlanie w trakcie rozmowy informacji o naliczanej opłacie;
- dodatkowe łącze transmisji danych;
- blokowanie pewnych usług i połączeń przez operatora.[39]

[39] W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 187

Rozdział 6.

SYSTEMY TELEFONII KOMÓRKOWEJ TRZECIEJ GENERACJI

6.1. Rys historyczny UMTS (ang. – Universal Mobile Telecommunication System)

Jesteśmy obecnie (2004r) świadkami wkraczania w nasze życie telefonii komórkowej trzeciej generacji. Namacalnym efektem tego nie tylko są już przeprowadzane przetargi na koncesje UMTS, ale chociażby coraz tańsze rozmowy, sekundowe naliczanie kosztów rozmowy, czy możliwe już do realizacji usługi tej generacji, jak MMS.

Cechami charakteryzującymi poszczególne fazy (generacje) telefonii komórkowej są:

- **pierwsza generacja** – transmisja analogowa, czyli: mała pojemność i niezawodność, łatwość podsłuchu;
- **druga generacja** – transmisja cyfrowa i wykorzystanie FDMA / TDMA, czyli: większa pojemność i wykorzystanie przydzielonego pasma częstotliwości, większa niezawodność i bezpieczeństwo;
- **trzecia generacja** – transmisja cyfrowa i wykorzystanie odmian CDMA, czyli: oprócz cech systemu drugiej generacji, znaczne przepływności do 384 kbit/s, a w pewnych sytuacjach do 2 Mbit/s, pełne zintegrowanie różnych dotychczas izolowanych podsystemów – np. satelitarnego, bezprzewodowych sieci komputerowych.

U podłoża rozwoju kolejnych generacji telefonii komórkowej stało ich dekadowe sekwencje pojawiania się i ekspansji, czyli początek lat 80 (1983r.) poprzedniego wieku rozwój sieci analogowych, początek lat 90 (1991r.)– cyfrowych drugiej generacji i obecnie (2003/2004 r) – trzeciej generacji.

Prace nad UMTS prowadzą dwie największe organizacje telekomunikacyjne w Europie:

- Europejski Instytut Standaryzacyjny Telekomunikacji – ETSI;
- Unia Telekomunikacyjna ITU (szczególnie jej dział radiokomunikacyjny), gdzie:
  - ITU-R – jako agenda radiokomunikacyjna zajmuje się interfejsem radiowym;
  - ITU-T – jako agenda systemów przewodowych (kablowych) zajmuje się usługami, numeracją, pojemnością, protokołami, kodowaniem i kompresją.

Zasadniczym zadaniem postawionym przed systemem telefonii komórkowej trzeciej generacji, czyli UMTS, jest zapewnienie zintegrowanej szerokopasmowej łączności abonentom ruchomym. Wśród wielu założeń za najważniejsze uważa się:

- funkcjonowanie w różnych środowiskach –założenie kilku rodzajów komórek – pikokomórek, makrokomórek i komórek satelitarnych;
- dupleks realizowany z podziałem czasowym / kodowym / częstotliwościowym;
- bardzo szeroka współpraca z systemami stacjonarnymi PSTN.

System UMTS ma się opierać na zintegrowanej łączności osobistej PCN (ang. Personal Communication Network). Wiele cech tej łączności zwarto w DSC 1800 oraz 1900 MHz.

Zasadnicze różnice w generacjach telefonów można wyspecyfikować do następujących obszarów:

a) zasięgu systemu:

- pierwsza generacja – usługi analogowe na terenie jednego lub kilku krajów;
- druga generacja – usługi cyfrowe na terenie kontynentu (brak zasięgu na akwenach morskich, wysokogórskich i innych mało zaludnionych – obszary podbiegunowe);
- trzecia generacja – zasięg globalny w oparciu o trzy wymienione wyżej rodzaje komórek, gdzie nadrzędną jest komórka satelitarna;

b) rodzaju przesyłanych danych:

- I oraz II generacja – przesyłanie przede wszystkim fonii, a transmisja danych jest tylko uzupełnieniem;
- III generacja – przede wszystkim transmisja danych o wysokiej jakości oraz znacznej przepływności (określanej jako „szerokopasmowe") – standardowo kilkuset kbit/s (jest to w generacji 2+) z możliwością lokalnie do 2 Mbis/s (transmisja multimedialna);

c) rodzaju i jakości usług:

- jakość transmisji porównywalna z jakością w sieci stałej;
- duży wachlarz usług – szczególnie multimedialnych;
- zasięg ogólnoświatowy z wykorzystaniem trzech rodzajów komórek.

W Europie system UMTS jest obecnie w etapie wdrażania (Wielka Brytania, Szwecja, Włochy) oraz testowania (Man, Monaco).[40]

[40] J. Kołakowski ..., op. cit.

6.2. Założenia systemu UMTS

Można utożsamiać UMTS z bardzo skrótowym określeniem czterech filarów tego systemu, którymi są następujące hasła:

- 2 Mbit/s dla każdego,
- wszędzie/zawsze w sieci,
- jeden abonent – jeden numer;
- pasma powyżej 300 MHz.

Takie zdefiniowane filary systemu UMTS wygenerowały następujące obszary założeń, które stanęły u podłoża prac koncepcyjnych i wdrożeniowych systemu UMTS:

a) w obszarze rodzaju pracy transmisję danych określono jako najważniejszą usługę (w NMT była to praca foniczna, w GSM foniczna uzupełniania transmisją danych), gdzie jej przepływność zależy od kilku uwarunkowań (odległościowych, sprzętowych), tj.:

- do 2 Mbit/s dla pikokomórek (obszar firmy, biura, centra handlowego lub komunikacyjnego) - zasięg sto do kilkaset metrów dla terminali stałych lub ruchomych przemieszczanych z prędkością kilka km/h (np. osoba przemieszczająca się po biurze);
- do 384 kbit/s dla mikrokomórek (obszar zabudowany, zasięg 1-2 kilometrów) przy wykorzystaniu terminali poruszających się z prędkością do 100 - 120 km/h;
- do 144 kbit/s dla makrokomórek (obszary największych komórek GSM o promieniu 20 kiloemtrów, jak również często nie objęte zasięgiem stacji naziemnej – wtedy realizacja łączności z wykorzystaniem satelity lub statków stratosferycznych) i dla terminali poruszających się z prędkością do 500 km/h

b) w obszarze rodzaju usług w sieci:

- transmisja danych;
- szeroki dostęp do internetu;
- komutacja kanałów i pakietów;
- multimedia;
- możliwość lokalizacji abonenta;

c) w obszarze radiowym - rodzaj wielodostępu:

- klasyczna technika CDMA z rozpraszaniem bezpośrednim (kanał radiowy 5 kHz);
- technika kodowo-czasowa (TD-CDMA - ang. Time Division in Code Division Multiple Access);

d) w obszarze zasobów radiowych - pasmo o szerokości 230 MHz przydzielone przez WARC-92, gdzie dokonano następującego podziału:

segment pierwszy, który charakteryzował się następującymi właściwościami:

- 1880 MHz – 1900 MHz – pasmo działania DECT w Europie;
- **1900 MHz – 1980 MHz** – segment naziemny UMTS (pasmo 1920 MHz – 1980 MHz jest skojarzone z pasmem 2110 MHz – 2170 MHz, tj. mają taką samą szerokość 60 MHz i są odległe o 190 MHz);
- **1980 MHz – 2010 MHz** - pasmo wspólne z systemami satelitarnymi na potrzeby UMTS;
- **2010 MHz – 2025 MHz** - pasmo nieskojarzone;

segment drugi, który charakteryzował się następującymi właściwościami:

- **2110 MHz – 2170 MHz** - segment naziemny UMTS;
- **2170 MHz – 2200 MHz** -pasmo wspólne z systemami satelitarnymi na potrzeby UMTS.[41]

Pasma skojarzone 1950 MHz i 2140 MHz charakteryzują się następującymi cechami:

- wykorzystanie dupleksu częstotliwościowego FDD (ang. Frequency Division Duplexing) z odstępem 190 MHz;
- realizacja szerokopasmowego wielodostępu kodowego z rozpraszaniem bezpośrednim (CDMA).

Pasma nieskojarzone 1910 MHz oraz 2018 MHz charakteryzują się następującymi cechami:

- wykorzystanie dupleksu czasowego TDD (ang. - Time Division Duplexing), czyli przesyłanie sygnału w obu kierunkach na tej samej częstotliwości, ale w różnych szczelinach czasowych;
- realizacja szerokopasmowego wielodostępu czasowo-kodowego TD – CDMA (ang. – Time Division Code – Division – Multiple-Access).

Cztery lata temu na konferencji WARC w 2000 roku przydzielono dodatkowo nowe pasmo z zupełnie innego podzakresu, tj. 2500 MHz – 2690 MHz. Jest to na tyle nowa decyzja, iż dopiero w fazie koncepcyjnej uwzględnia się ten dodatkowy podzakres.

W poniższej tabeli przedstawiono podstawowe cechy dwóch rodzajów pracy radiowych zdefiniowanych dla systemu UMTS.

[41] J. Kołakowski ..., op. cit., s.145

Tab. 6.1. Dwa podstawowe rodzaje pracy radiowej w UMTS

Cecha	Rodzaj trybu pracy	
	FDD	TDD
Zakres pracy stacji ruchomych	1920 MHz – 1980 MHz	1900 – 1920 MHz
Zakres pracy stacji bazowych	2110 MHz – 2170 MHz	2010 MHz – 2025 MHz
Rodzaj wielodostępu	WCDMA	TD-CDMA
Typ dupleksu	FDD	TDD
Odstęp międzykanałowy	3 MHz	5 MHz lub 1,6 MHz
Czas trwania ramki	10 ms	10 ms
Liczba szczelin w ramce	15	14
Obszar decydowania abonenta	Dobór długości ciągu rozpraszającego	Dobór liczby szczelin i ciągów rozpraszających
Rodzaj modulacji	QPSK	QPSK lub 8PSK

Źródło: na podstawie : J. Kołakowski, op. cit., s. 148

Dwa powyżej przedstawione rodzaje dostępu tworzą w sieci UMTS system dostępu radiowego zwany UTRA (ang. - Universal Terrestrial Radio Access).

Procedura realizacji połączenia w UMTS jest podobna do tej w GSM. Można ją zdefiniować bardzo ogólnie w sposób przedstawiony w poniższej tabeli.

Tab. 6.2. Etapy realizacji połączenia w UMTS

Obszar UTRAN	Obszar sieci szkieletowej
1. Zestawienie połączenia radiowego	
2. Realizacja procedur zabezpieczających	
3. Przesłanie informacji dotyczących realizowanego połączenia	
4. Przydział zasobów dla połączenia	
5. Wymiana danych użytkownika oraz sygnalizacji	
6. Rozłączenie. Zwolnienie zasobów	
7. Zwolnienie połączenia radiowego	

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Kołakowski, op. cit., s. 87

6.3. Architektura systemu UMTS

W obszarze architektury systemu UMTS uwaga zostanie zwrócona na trzy komponenty ściśle związane z radiową siecią dostępową, czyli::

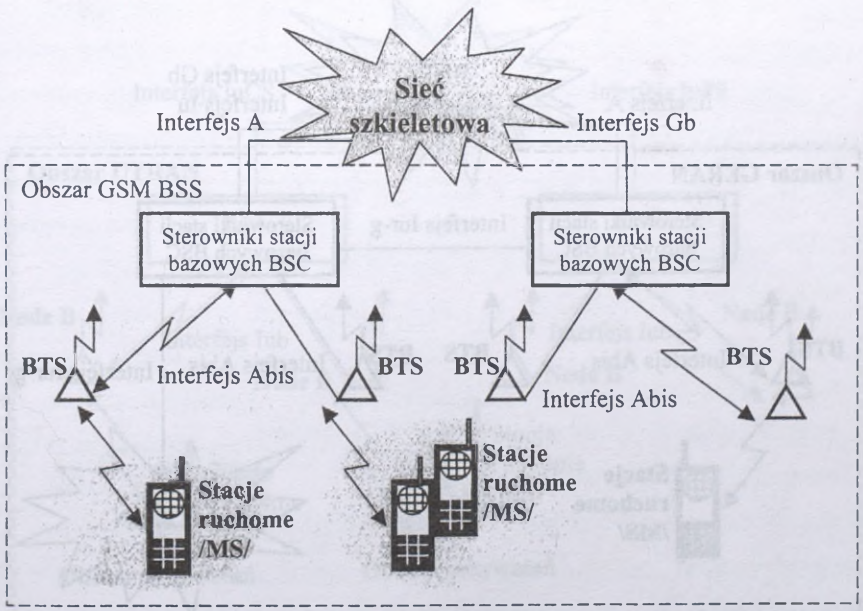
- podsystem stacji bazowych GSM;
- podsystem dostępowej sieci radiowej GERAN;
- podsystem dostępowej sieci radiowej UTRAN.

6.3.1. Podsystem stacji bazowych GSM

Jednym z pierwszych założeń koncepcyjnych systemu UMTS było jego ewolucyjne wprowadzanie. Polegać to miało na płynnym uzupełnianiu już istniejących sieci. Stacja ruchoma systemu UMTS powinna mieć możliwość, jeśli taka sytuacji zaistnieje, skorzystania z infrastruktury systemu GSM – czyli podsystemu stacji bazowych i ich sterowników.

Na poniższym rysunku przedstawiono taką strukturę, która może być podsystemem UMTS. Istotną cechą tej struktury jest zdefiniowanie następujących interfejsów:[42]

- pomiędzy stacją BTS oraz sterownikiem BSC – jako Abis;
- pomiędzy BSC a siecią szkieletową – jako interfejs A (dla komutacji kanałów);
- pomiędzy BSC a siecią szkieletową – jako interfejs Gb (dla komutacji pakietów).



Rys. 6.1. Struktura podsystemu stacji bazowej GSM wykorzystywanej w systemie UMTS
Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Kołakowski, op. cit., s. 69

[42] tamże, s. 69

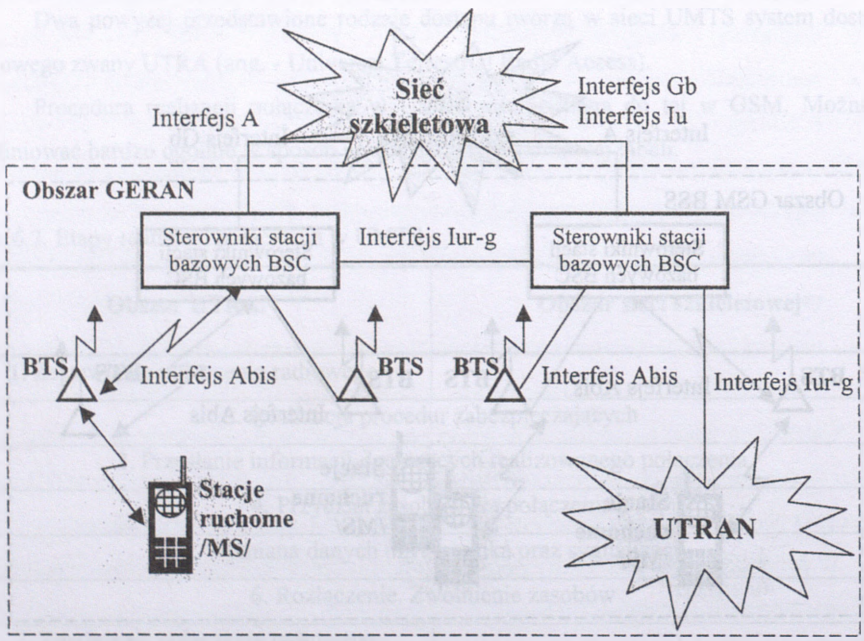
6.3.2. Sieć GERAN (ang. GSM EDGE Radio Access Network)

Przedstawiony podsystem stacji bazowych GSM w celu lepszego wykorzystania przez sieci UMTS, został poddany modyfikacjom. Ewolucja ta polega na tym, iż zastosowano nowe rodzaje interfejsu radiowego zwiększającego przepływność w kanale. Interfejsy te oparto na nowym rodzaju modulacji 8 PSK.

Określono wiele interfejsów, w które wyposażono sterownik BSC. Między innymi, są to:[43]

- pomiędzy sterownikiem BSC a stacjami bazowymi BTS – interfejs Abis;
- pomiędzy sterownikami BSC – interfejs Iur-g;
- pomiędzy sterownikiem BSC a siecią UTRAN – interfejs Iur-g;
- pomiędzy BSC a siecią szkieletową – interfejs A (w komutacji kanałów);
- pomiędzy sterownikiem BSC a siecią szkieletową – interfejs Gb (w komutacji pakietów – np. do przesyłania GPRS);
- pomiędzy sterownikiem BSC a siecią szkieletową – interfejs Iu (do bezpośredniej komunikacji z siecią szkieletową w systemie UMTS)

Na poniższym rysunku przedstawiono strukturę sieci GERAN i jego współpracę z siecią szkieletową UMTS.



Rys. 6.2. Struktura podsystemu GERAN wykorzystywanego w systemie UMTS
Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Kołakowski, op. cit., s. 72

[43] tamże, s. 72

6.3.3. Sieć UTRAN (ang. UMTS Terrestrial Radio Access Network)

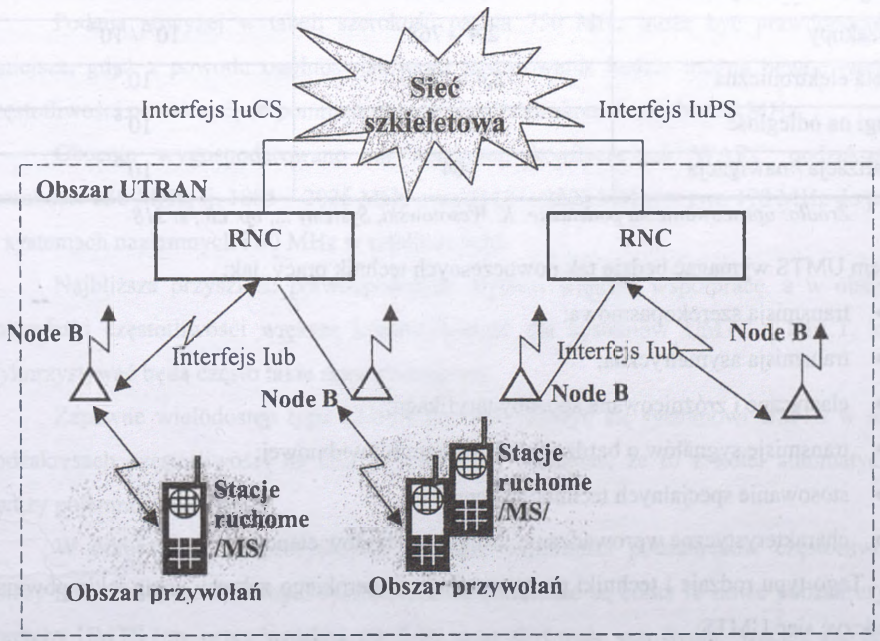
Podsystem radiowy UTRAN jest złożony ze stacji bazowych Node B oraz sterowników tych stacji RNC (ang. Radio Net Control). Charakteryzuje on się bardzo ograniczoną funkcją spełnianą przez stacje bazowe (tylko obsługa radiowa oraz pomiary w sieci radiowej). Za to RNC są obarczone wieloma funkcjami, które grupuje się w dwóch obszarach:

- sterowników obsługujących, których zadaniem jest pośredniczenie pomiędzy stacją ruchomą a całą siecią UTRAN;
- sterowników zarządzających, których zadaniem jest zarządzanie podległymi stacjami bazowymi i ich zasobem radiowym.

W sieci UTRAN realizowane są następujące interfejsy:[44]

- pomiędzy sterownikiem RNC a stacjami bazowymi Node B – interfejs Iub;
- pomiędzy sterownikami RNC – interfejs Iur;
- pomiędzy RNC a siecią szkieletową – interfejs IuCS (w komutacji kanałów);
- pomiędzy sterownikiem RNC a siecią szkieletową – interfejs IuPS (w komutacji pakietów – np. do przesyłania GPRS).

Na poniższym rysunku przedstawiono strukturę sieci UTRAN.



Rys. 6.3. Struktura podsystemu UTRAN wykorzystywanego w systemie UMTS
Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Kołakowski, op. cit., s. 70

[44] tamże, s. 70

6.4. Usługi systemu UMTS

W poniższej tabeli zestawiono podstawowe usługi oferowane w systemie UMTS wraz z niezbędnymi wymaganiami i parametrami związanymi z nimi.

Tab. 6.3. Przykłady podstawowych usług w systemie UMTS

Usługa	Przepływność [kbit/s]	Stopa błędów
Telefonia	8-32	10^{-4}
Transmisja danych	2,4 – 64	10^{-6}
Dźwięk wysokiej jakości	940	10^{-5}
Wideotelefonia	64 – 384	10^{-7}
Krótkie wiadomości / paging (punkt – punkt)	1,2 – 9,6 1,2 – 2,4	10^{-6}
Poczta elektroniczna	1,2 – 64	10^{-6}
Telefaks	64	10^{-6}
Krótkie wiadomości (dyfuzja)	28- 32	10^{-4}
Dostęp do baz danych	2,4 – 768	10^{-6}
Telezakupy	2,4 – 768	10^{-6} / 10^{-6}
Gazeta elektroniczna	2,4 – 2000	10^{-6}
Usługi na odległość	1,2 – 9,6	10^{-6}
Lokalizacja / nawigacja	64	10^{-6}

Źródło: opracowanie na podstawie: K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 318

System UMTS wymagać będzie tak nowoczesnych technik pracy, jak:

- transmisja szerokopasmowa;
- transmisja asymetryczna;
- elastyczne i zróżnicowane sposoby taryfikacji;
- transmisję sygnałów o bardzo dużej wydajności widmowej;
- stosowanie specjalnych technik dostępu.
- charakterystyczne wprowadzanie usług i standardów etapowo.

Tego typu rodzaje i techniki pracy wynikają z szerokiego zakresu usług jakie powinna świadczyć sieć UMTS.

W poniższej tabeli przedstawiono wymagania częstotliwościowe w UMTS dla różnych obszarów spełnianych usług.

Rys. 6.4. Szerokość wymaganego pasma częstotliwości UMTS przy różnych rodzajach pracy

Rodzaj łączności	Szybkość transmisji	Zasięg transmisji	Szerokość pasma częstotliwości
Łączność biznesowa wewnątrz budynku	Duża	Mały	16 MHz
Łączność biznesowa na zewnątrz budynku	Średnia	Średni	80 MHz
Sieci abonentów indywidualnych wewnątrz budynku	Średnia	Mały	2 MHz
Telefonia komórkowa w miastach dla pieszych	Mała	Średni	90 MHz
Telefonia komórkowa w miastach dla pojazdów	Mała	Średni	90 MHz
Telefonia komórkowa poza miastem	Mała	Duży	140 MHz
Łączność prywatna satelitarna	Mała	Bardzo duży	2 MHz
Sieci publiczne satelitarne	Mała	Bardzo duży	150 MHz
Radiowe sieci dostępowe	Mała	Średni	150 MHz
	Razem:		750 MHz

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 313

Podana powyżej w tabeli szerokość pasma 750 MHz może być prawdopodobnie mniejsza, gdyż z powodu ogólnoświatowego zastosowania będzie można pewne wartości częstotliwości powtórzyć, co pomniejsza potrzebny podzakres do około 550 MHz.

Obecnie wygospodarowano na kolejnych konferencjach WARC podzakres o szerokości 230 MHz, tj. 1885 – 2025 MHz oraz 2110 – 2200 MHz (w tym 170 MHz do pracy w systemach naziemnych i 60 MHz w satelitarnych).

Najbliższa przyszłość prawdopodobnie wymusi większą współpracę, a w obszarze gospodarki częstotliwości większą kompatybilność dla systemów UMTS i DECT, które wykorzystywać będą często takie same podzakresy.

Zapewne wielodostęp typu CDMA pozwoli nałożyć się systemowi UMTS w wielu podzakresach częstotliwości na DECT, ale należy pamiętać, że to z kolei automatycznie obniży pojemność systemu.

W odniesieniu do powyższych wymagań szerokości podzakresów częstotliwości, należy stwierdzić, że w Europie systematycznie oddawane są coraz to nowe podzakresy na potrzeby UMTS (np. przez wojsko), ale dalej są to zbyt małe szerokości. Szacuje się, że dla jednego operatora potrzebny jest minimum podzakres 2 x 20 MHz. W Polsce taka możliwość jest obecnie dla dwóch operatorów.

6.5. Rodzaje interfejsów radiowych w UMTS

W wyniku wieloletnich prac organizacji europejskich wybrano dwa podstawowe interfejsy radiowe dla UMTS. Są nimi przede wszystkim WB-CDMA (ang. WideBand Code Division Multiple Access) oraz jako uzupełnienie TD-CDMA (ang. Time Division CDMA).

Według pomysłodawców będą one uwzględniać takie uwarunkowania, jak:

- zdolność do obsługiwania przez system szerokiej gamy usług – szczególnie multimedialnych;
- złożoność infrastruktury;
- efektywność wykorzystania podzakresów;
- koszt i wielkość terminali;
- stopień ryzyka technologicznego;
- płynność przejścia z systemów drugiej do trzeciej generacji;
- możliwość rzeczywistego ustandaryzowania ogólnoświatowego.

O właściwości wyboru interfejsu przemawia obecnie przebiegający płynnie i planowo proces realizacji fazy 2+, ale słuszność dokonanych wyborów wydaje się wątpliwa, gdy zauważy się zupełne nie uwzględnienie w prezentowanych kryteriach opinii publicznej, a szczególnie zapatrywań i rzeczywistych potrzeb klientów. Właśnie bardzo złe rozpoznanie potrzeb społecznych, a nie kłopoty „częstotliwościowe" są głównym powodem tak już znacznych opóźnień w wprowadzeniu UMTS.

6.5.1. Interfejs radiowy typu WB-CDMA (ang. WideBand Code Division Multiple Access)

Funkcjonowanie interfejsu radiowego oparto na głównych cechach CDMA, czyli:

- jednoczesne nadawanie w tych samych szczelinach i na takich samych częstotliwościach przez wszystkie nadajniki na danym obszarze;
- każdy użytkownik posiada inny kod rozpraszający pozwalający tylko jego odbierać w docelowym odbiorniku;
- ograniczenia pojemności są miękkie (nie tak jak w TDMA, FDMA) – rośnie liczna abonentów i jednocześnie pogarsza się jakość łączności;
- wpływ zaników i wielodrogowości (i innych zakłóceń) sygnału jest ograniczana poprzez rozpraszanie sygnału w szerokim paśmie;
- przepływność transmisji na jednej częstotliwości jest znaczna dzięki bardzo krótkiemu trwaniu bita sekwencji pseudolosowej – przez co opóźnienia nadawanego sygnału są odbierane w postaci szumu;

- możliwe jest miękkie przekazywanie abonenta, gdyż sygnał stacji ruchomej jest odbierany w kilku stacjach bazowych (transmisja sygnału CDMA może być realizowana na tej samej częstotliwości we wszystkich komórkach);
- najbardziej powszechnym protokołem interfejsu radiowego CDMA jest standard IS-95 (główny element platformy cdmaOne).

Za najważniejsze cechy systemu z wykorzystaniem WB-CDMA uważa się:

- ośmiokrotnie większy ruch obsługiwany na jednej częstotliwości w porównaniu ze zwykłym CDMA;
- większa pojemność systemu pracującego za pomocą WB-CDMA w odróżnieniu do samego CDMA wynika z czterokrotnie szerszego pasma w porównaniu z interfejsem radiowym IS-95.
- szersze pasmo pozwala na dużą przepływność – dla stacji ruchomych 384 kbit/s lub w terenie wiejskim / podmiejskim, dla stacji stałych w terenie miejskim, zurbanizowanym – 2 Mbit/s;
- realizacja komutacji pakietów lub kanałów. Realizowana jest transmisja z komutacją pakietów bez zajmowania całej szerokości pasma i jednocześnie pozwalająca taryfikować nie czas a ilość przesłanej informacji;
- stosowanie hierarchicznej struktury komórek podczas przełączania między nośnymi;
- możliwość realizowania kilku usług jednocześnie;
- współpraca z inteligentnymi antenami – możliwość zwiększenia pojemności sieci poprzez pracę SDMA (ang. Space Division Multiple Access);
- niezależność systemu od zewnętrznego sygnału synchronizującego (np. otrzymywanego z GPS, który generuje trudności z lokalizacją w miastach, centrach przemysłowych i handlowych);

6.5.2. Interfejs radiowy typu TD-CDMA (ang. Time Division CDMA)

Technika TDMA to typowa technika wielodostępu stosowana w drugiej generacji telefonów komórkowych. Każda z częstotliwości nośnych jest użytkowana przez kilku abonentów. Każdy z abonentów nadaje na jednej niezależnej od innych szczelinie czasowej.

Transmisja danych jest nieciągła – okresowa, układy nadawczo-odbiorcze pracują w trybie impulsowym. Ułatwia to realizacja pewnych procedur systemowych, np. przełączanie kanałów pomiędzy komórkami jest prostsze – stacja ruchoma może dokonać pomiarów sygnału odbieranego w przerwie własnej transmisji.

W interfejsie radiowym TD-CDMA istnieje możliwość przydzielania różnej liczby szczelin czasowych – w więc dogodna realizacja transmisji z różnymi przepływnościami.

W poniższej tabeli dokonano porównania omawianych standardów WB-CDMA i TD-CDMA.

Tab. 6.5. Parametry trzech interfejsów radiowych

Parametr	IS-95	WB-CDMA	TD-CDMA
Rodzaj wielodostępu	DS.-CDMA	DS-CDMA	WB-TDMA z dodatkowym rozpraszaniem widma
Rodzaj transmisji	synchroniczna	asynchroniczna	
Odstęp międzykanałowy	1,25 MHz	4,2 – 5 MHz	1,6 MHz
Przepływność sekwencji pseudolosowej	1,2288 Mbit/s	4,096 Mbit/s	1,2288 Mbit/s
Długość ramki		10 ms	4,62 ms
Liczba szczelin czasowych w ramce	1	1	8
Detekcja	koherentna	koherentna	Odbiór wspólny kilku użytwkoników
Kodowanie kanałowe	kody splotowe o sprawności 1/3	Kody splotowe o sprawności 1/3 (1/2) Kody typu RS	Kody splotowe o sprawności 1/3

Źródło: W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe..., op. cit., s. 317

Rozdział 7.

SYSTEMY ŁĄCZNOŚCI Z WYKORZYSTANIEM SATELITÓW

7.1. Ogólne zasady łączności z wykorzystaniem sztucznych satelitów

Początki rozwoju sieci łączności satelitarnej były związane z izolowanym funkcjonowaniem tych systemów. Dopiero burzliwy rozwój elektroniki oraz naziemnych systemów telefonii trankingowej i komórkowej spowodowały rewizje pierwotnych koncepcji telekomunikacji z wykorzystaniem sztucznych satelitów Ziemi.

Obecne systemy łączności satelitarnej są bardziej otwarte, pozwalając na współdziałanie różnych sieci telekomunikacyjnych – stałych, ruchomych naziemnych i satelitarnych.

Na przestrzeni prawie trzydziestu lat łączności za pomocą satelitów można było zauważyć trzy charakterystyczne fale technologiczne w tej dziedzinie telekomunikacji ruchomej. Obecnie jesteśmy świadkami wprowadzania trzeciej generacji satelitów (pewne zastosowania IRIDIUM, system THURAYA, itp.)

Zadaniem pierwszej i drugiej generacji satelitów telekomunikacji ruchomej było zapewnienie łączności w trzech zasadniczych obszarach:

- łączności z jednostkami pływającymi na dużych akwenach;
- łączności z ciężarówkami przemieszczającymi się na dużych obszarach;
- łączności radiodyfuzyjnej.

Dopiero szerszy rozwój technologii teleinformatycznych oraz telefonii komórkowej GSM i DCS spowodowały inne spojrzenie na zadania stojące przed łącznością satelitarną. U podłoża nowoczesnych systemów satelitarnych stanęła koncepcja UPT (ang.– Universal Personal Telecommunications) mówiąca o uniwersalnej telekomunikacji osobistej, której bardzo ważnym elementem stała się łączność za pomocą satelitów. Łączność za pomocą satelitów ma być częścią funkcjonującej zintegrowanej sieci, która w zależności od odległości i natężenia ruchu będzie wykorzystywać różne media transmisyjne, włącznie z liniami radiowymi satelitarnymi. Przyszłością więc systemów satelitarnych ma być nie ich odrębność, ale zintegrowanie np. z telefonią komórkową. Inne spojrzenie na rozwój systemów satelitarnych możne spowodować takie turbolencje jakie doznał system IRYDIUM, u którego podstaw stanęły nie do końca właściwe założenia (oparcie się na odrębności systemu – tylko do zastosowań specjalnych).

7.2. Podstawowe parametry orbitalne satelitarnej łączności radiowej[45]

Parametrami orbity, istotnymi z punktu widzenia łączności satelitarnej są:

- satelita porusza się po orbicie eliptycznej z Ziemią w jednym z dwóch ognisk elipsy, natomiast elipsy posiadają niezmienne położenie w stosunku do gwiazd;
- występują dwa punkty krytyczne - punkt orbity położony najbliżej Ziemi nazywany perygeum oraz punkt położony najdalej zwany apogeum;
- okres obiegu T satelity po orbicie Ziemi liczy się między kolejnymi przejściami satelity przez punkt perygeum;
- prędkość liniowa satelity v styczna do orbity zmienia się wraz z jego odległością r od ogniska Z. Jest ona największa w perygeum i najmniejsza w apogeum;
- położenie satelity określane jest jego współrzędnymi biegunowymi – długością promienia wodzącego r i kątem Θ nazywanym anomalią prawdziwą, mierzonym od punktu perygeum (lub innego przy orbicie kołowej).

  Dla satelity z orbitą kołową określenie tego promienia i kąta w zależności od czasu jest proste. Bardziej złożone jest to przy orbitach eliptycznych.

Na określenie położenia satelity względem Ziemi składa się kilka parametrów, takich jak:

- **inklinacja** - jest to płaszczyzna orbity przecinająca kulę ziemską przez jej środek tworząca z płaszczyzną równika kąt. Płaszczyzny te przecinają się wzdłuż prostej Ω_n - Ω zwanej prostą węzłów. Węzeł Ω_n, w którym satelita przekracza równik w kierunku na północ, nazywa się węzłem wstępującym;

  Kierunek Ω_n - Ω przy stałym położeniu płaszczyzny orbity jest stały. Jest on nazywany rektascensją prostą. Podawany jest w mierze czasowej lub stopniach;
- **trasa podsatelitarna** - jest to rzut orbity satelity telekomunikacyjnego na powierzchnię Ziemi kreśli trasę podsatelitarną;
- **precesja węzłów.** Na satelitę przekraczającym równik w wyniku spłaszczenia Ziemi działają siły wywołujące precesję orbity. W wyniku tego zjawiska następuje przemieszczenie się węzła Ω_n o pewien kąt;
- **obszar dostępu do satelity** determinuje, aby satelita znajdował się nad horyzontem. Styczne do powierzchni Ziemi wyprowadzone z satelity znajdującego się na wysokości h nad Ziemią wyznaczają dwa punkty będące granicą widzialności satelity (elewacja = 0 stopni).

[45] Z. Bieńkowski, Poradnik ultrakrótkofalowca, WKŁ, Warszawa 1988, s. 155- 169

7.3. Kryteria podziału ruchomych systemów telekomunikacji satelitarnej

W przestrzeni okołoziemskiej krąży bardzo wiele różnych satelitów telekomunikacyjnych. Dla ogólnej charakterystyki tych systemów jawi się potrzeba dokonania najpierw ich podziału. Można tego dokonać uwzględniając kilka zasadniczych kryterium, którymi między innymi są:

a) szerokość toru radiowego - dwa podstawowe rodzaje satelitów telekomunikacyjnych:
- wąskopasmowej transmisji – terminale radiowe;
- szerokopasmowej transmisji – terminale radioliniowe;

b) trzy podstawowe rodzaje ze względu na generację satelitów:
- pierwsza generacja – geostacjonarne oraz MEO (lata 80. XX wieku);
- druga generacja – średnie na orbitach LEO / MEO (lata 90. XX wieku);
- trzecia generacja – małe i średnie LEO / ICO (koniec lat 90. XX wieku);

c) Trzy podstawowe rodzaje ze względu na wysokość orbit satelitów:
- GEO – geostacjonarne, ang. Geostacjonary Earth Orbit;
- ICO – średniorbitalne, ang. Intermediate Circular Orbit;
- LEO – niskoorbitowe, ang. Low Earth Orbit;
- HEO – eliptyczne, ang. Highly Eliptical Orbit;

d) Trzy podstawowe rodzaje satelitów ze względu na ich wielkość:
- duże GEO;
- duże LEO i ICO;
- małe LEO, gdzie występują:
  - minisatelity LEO = 100 – 750 kg;
  - mikrosatelity LEO = 50 – 100 kg;

e) kryterium rodzaju wielodostępu. Wtedy można wyodrębnić następujące systemy:
- z dostępem FDMA (stosują systemy INMARSAT od A do M);
- z dostępem TDMA;
- z mieszanym dostępem TDMA / FDMA (stosują systemy IRIDIUM oraz ICO);
- z dostępem CDMA / TDMA (stosują systemy GLOBALSTAR oraz Odyssey).

e) kryterium zmienności orbity:
- systemy o orbicie kołowej (kołowe);
- systemy o orbicie eliptycznej (eliptyczne).

Poniżej bardziej szczegółowo zostaną przedstawione satelity ze względu na wysokość orbity, oraz generację.

7.4. Satelity telekomunikacyjne wyodrębnione ze względu na wysokość orbity

Jak wspomniano wcześniej przyjęcie kryterium wysokości orbity, po której krążą satelity telekomunikacyjne, determinuje wyodrębnienie trzech podstawowych ich klas:

a) wysokoorbitowe, będące najczęściej geostacjonarnym GEO;
b) średnioorbitowe – MEO / ICO;
c) niskoorbitowe – LEO najczęściej ostatnio stosowane.

a) LEO (ang. - Low Earth Orbit) charakteryzują się następującymi cechami:

- systemy o niskich orbitach kołowych rzędu 700 – 1500 km;
- wymagana jest duża liczba misji, aby zapewnić wystarczające funkcjonowanie;
- stosunkowo skomplikowany proces projektowania orbit i ich utrzymania w czasie;
- satelity niestacjonarne, co się wiąże z widzeniem anteny abonenta przez kilka minut, kilka razy w ciągu doby;
- krótki czas widzenia determinuje skomplikowany system przekazywania abonenta między satelitami (ang. handover);
- w trakcie przelotu odległość satelita – terminal bardzo zmienia się, co generuje złożoną regulację na pokładzie satelity i efekt Dopplera;
- mały promień orbity powoduje to, że pokrycie całej kuli ziemskiej wymaga co najmniej 40 satelitów;
- liczba komórek widzianych na Ziemi przez satelitę jest w liczbie co najmniej 3000, co daje dużą pojemność systemu;
- niska orbita powoduje niewielkie opóźnienia propagacji, większe niż 50 ms;
- duża liczba komórek generuje znaczny koszt obsługi naziemnej;
- niska orbita determinuje krótki czas życia satelity na około 5 lat, co generuje koszty długookresowego eksploatowania systemu;
- na orbitach LEO najczęściej krążą małe satelity, o wadze około:
  - minisatelity 100 – 750 kg
  - mikrosatelity 50 – 100 kg (cały system oparty na amatorskich satelitach europejskich OSCAR, rosyjskich ISKRA);
- tego typu orbity eksploatowane były na początku przede wszystkim przez rodziny amatorskich satelitów radiokomunikacyjnych pracujących na niskich wartościach częstotliwości (28 MHz / 144 MHz, 430 MHz);
- w latach 90-tych powstało wiele projektów systemów LEO – IRIDIUM, GLOBALSTAR, TELEDESIC, SKYBRIDGE.

b) MEO (ang. - Medium Earth Orbit) lub ICO (ang. - Intermediate Circular Orbit)

Średnia wysokość orbit systemów MEO jest rzędu 10 000 – 15 000 km. W porównaniu z systemami satelitarnymi LEO większa wysokość generuje następujące uwarunkowania:

- wiązki anten obejmują większy obszar;
- istnieje potrzeba mniejszej liczba satelitów – rzędu 10 – 15;
- mniejsza liczba satelitów generuje zmniejszenie kosztów eksploatacji systemu;
- mniejsza liczba komórek - około 800; powoduje zmniejszenie wielokrotności użycia częstotliwości kanałowych przy stosowaniu FDMA i FDMA/TDMA, co z kolei skutkuje zmniejszeniem pojemności systemu;
- większe opóźnienie propagacji rzędu 150 ms;
- dłuższy średni czas życia satelity do około 10 lat;
- na tych orbitach wykorzystywane są średnie i małe satelity;

c) GEO (ang. – Geostationary Orbit)

Systemy z satelitami geostacjonarnymi GEO posiadają najstarsze zastosowanie z wykorzystywanych. Charakteryzują je następujące cechy:

- rozmieszczenie satelitów jest realizowane na wysokości około 35 780 km;
- rozmieszczenie krążących satelitów w płaszczyźnie równikowej (orbity równikowe);
- dla stacji krążących powyżej 50^0 szerokości geograficznej kąt elewacji jest tak mały, że następuje znaczne tłumienie fali radiowej w jonosferze oraz jej wielodrogowość.

Najwyższa wysokość funkcjonowania tych satelitów powoduje następujące uwarunkowania w stosunku do niższych systemów:

- bardzo znaczne moce stacji satelitarnych i naziemnych (radiolinie 0,5 kW – 1 kW). Tak znaczne moce powodują to, że są nie do użycia przenośne terminale szerokopasmowe (bariera techniczna i zdrowotna);
- do pokrycia zasięgiem powierzchni Ziemi potrzeba 3-4 satelitów (pas do 75^0 szerokości geograficznej), co z kolei generuje niski koszt eksploatacji;
- wysoki koszt jednostkowy wyniesienia rakietowego satelity;
- znaczne opóźnienie propagacji rzędu 300 ms generuje znaczny efekt Dopplera;
- wymagana liczba komórek nie większa niż 800 (niezbyt duża liczba komórek powoduje z kolei znacznie niższą pojemność systemu);
- orbity typu GEO wymagają satelitów o znacznych rozmiarach.

7.5. Radiokomunikacja satelitarna pierwszej generacji

Radiokomunikacja za pomocą satelitów sztucznych Ziemi podlega ciągłym zmianom. Trudno uwierzyć, że pierwsza komunikacja kosmiczna odbywała się w górnym zakresie fal krótkich, a następnie na częstotliwościach rzędu kilkudziesięciu MHz.

Pierwsze systemy radiokomunikacyjne wykorzystujące sztuczne satelity Ziemi jako retranslatory obejmowały swoim zakresem usług dwa podstawowe rodzaje komunikacji:[46]

- łączność ze statkami na morzu;
- łączność z ciężarówkami.

W obszarze łączności cywilnej na początku funkcjonowania systemów satelitarnych bardzo istotną rolę spełniały przedsięwzięcia nadzorowanie przez INMARSAT (ang. - International Maritine Telecommunication Satellite Organization). Była to organizacja międzynarodowa powołana do opracowania koncepcyjnego oraz wdrażania i eksploatacji potężnych systemów satelitarnych wielu generacji spełniające przede wszystkim istotną rolę w radiokomunikacji ruchomej morskiej i lotniczej. Zawodne systemy krótkofalowe zostały przez te służby radiokomunikacyjne zamienione na wykorzystujące łączność via satelita.

Tak więc system jednokanałowego dostępu satelitarnego INMARSAT[47] jest siecią komercjalną, której początki funkcjonowania były związane z radiokomunikacją morską. Obecnie jest on systemem komercjalnym - ogólnodostępnym, sprawdzonym przez wiele lat eksploatacji, wykorzystywanym przez bardzo różnych użytkowników i pewnie pracującym.[48] System ten składa się z:

- segmentu kosmicznego w postaci transponderów na pokładach satelitów;
- stacji naziemnych (np. w Psarach);
- terminali obsługiwanych (pokładowe, przenośne);
- stacji kontrolnych i sterujących.

Korzystanie z terminala ruchomego systemu umożliwia:

- realizację rozmów telefonicznych;
- wymianę informacji radiotelefaksowych;
- transmisję danych o szybkości 2400, 5600, 9600 bit/s;
- pracę faksymilii;

---

[46] L. Kiełtyka, Komunikacja w zarządzaniu, Placet, Warszawa 2002, s. 185

[47] Czajkowski J., Światowy morski system łączności alarmowej i bezpieczeństwa GMDSS,Gdańsk 1994, s. 36

[48] Informacje o ogłoszonym stanie upadłości dla „ Iridium" i o podobnej sytuacji konkurenta – ICO Global Communications, implikują ostateczny wybór INMARSAT (tym bardziej, że funkcjonuje on z powodzeniem od wielu lat nie tylko w komunikacji morskiej) – na podstawie: M. Warcko, Upadłe satelity, Home & Market, 10/1999.

- selektywne wywołania grupowe;
- łączność w niebezpieczeństwie - bezzwłoczne połączenia w trybie awaryjnym;
- przesyłanie obrazów stałych i zmiennych;
- emisję częstotliwości wzorcowych, sygnałów czasu;
- emisję banku danych meteorologicznych i innych serwisowych.

Terminal abonencki składa się z komputera przenośnego (laptopa), urządzenia radiowego wielkości książki, anteny warstwowej i manipulatora z klawiaturą. Wszystko to mieści się w niewielkiej walizce. Opcjonalnie występuje drukarka. Można wyodrębnić różne warianty wyposażenia urządzeń do pracy w tym systemie satelitarnym.

Pierwszymi wersjami satelitów INMARSAT były:

- INMARSAT A, który pracę rozpoczął już w 1982 roku, realizując pracę analogową z modulacją FM (fonia, teleks i faks oraz transmisja danych). Posiadał zastosowanie w transporcie morskim i platformach wiertniczych. Wersja mobilna o mocy 35 dBW wymagała oddzielnego pojazdu do zainstalowania urządzenia z anteną paraboliczną lub helikalną o średnicy 0,9 m;
- INMARSAT B, który rozpoczął pracę w 1993 roku zastępując wersję A. Zaproponowano w nim takie same usługi, ale w technologii cyfrowej (szybkość transmisji fonii 16 kbit/s) Zasadniczym rodzajem pracy takiego zestawu była telefonia, telefaks oraz transmisja danych. Standardowo praca odbywała się w trybie bazowym (stacjonarnym) w 10 kanałach częstotliwości;
- INMARSAT C, który rozpoczął funkcjonowanie w 1991 roku. Proponował wykorzystanie transmisji cyfrowej 600 bit/s, usługi teleksowe, automatyczne ustalania położenia / pozycji. Terminale były instalowane na małych jednostkach pływających oraz na pokładach pojazdów kołowych wykorzystujące najmniejsze ze wszystkich i najprostsze anteny bezkierunkowe. Z tego też powodu występowały ograniczenia dla przesyłania pełnej transmisji danych i obrazów, ale zapewniono możliwość współpracy z sieciami publicznymi za pomocą teletekstu;
- INMARSAT M, który został wprowadzony na przełomie 1992 i 1993 roku i miał na celu, przede wszystkim, zmniejszyć wymiary przenośnych terminali naziemnych pracujących w tej sieci. Zastosowano w tej wersji „lepsze" metody kodowania mowy (6,4 kbit/s) oraz transmisji danych (2,4 kbit/s);
- lotnicza wersja INMARSAT, która była przeznaczona do instalacji na pokładach powietrznych statków cywilnych.

W latach 80 - tych XX wieku intensywnie eksploatowano systemy do komunikacji dalekosiężnej z ciężarówkami. Były to, przede wszystkim, takie systemy, jak:[49]

- OmniTracs w USA;
- EutelTracs (firmy ALCATEL) w Europie (od 1991).

Systemy te służyły do przekazywania obustronnie krótkich informacji i ustalania położenia. Pracowały one w zakresie Ku na wysokości zawieszenia – 35780 kilometrów. Ostatecznie z powodu wysokiego kosztu urządzeń i usług systemy te zostały zastąpione innymi.

Przykładem systemów pierwszej generacji (typu GEO) mogą być systemy wojskowe.

Podstawowy komplet radioliniowego dostępu satelitarnego[50] takiego systemu powinien składać się z czterech terminali końcowych typu AN/TSC-93B i jednego węzłowego typu AN/TSC-85B.

Terminal typu AN/TRC-85B pełni funkcje węzła cyfrowej sieci łączności o możliwości zwielokrotnienia do ośmiu traktów przesyłanych bezpośrednio do transpondera satelity telekomunikacyjnego w jednym strumieniu typu FDM/FM/FDMA[51]. W transponderze satelity strumień FDMA poddany jest dystrybucji do terminali końcowych AN/TSC-93B. Z prostego wyliczenia otrzymuje się na wejściach terminali końcowych strumień FDM, z którego wydzielane są dwie grupy podstawowe. Każdy terminal węzłowy może być komutowany z innymi terminalami węzłowymi, z takim wyliczeniem, aby uwzględnić maksymalne możliwości tworzenia (przyjmowania) ilości grup podstawowych. Zamiast terminala końcowego może pracować bramka sieci komutowanej. Również dopuszczalne jest łączenie dwóch terminali końcowych ze sobą w systemie punkt-punkt (wynika to z ilości grup podstawowych generowanych - tworzonych w tych aparatowniach).

Przepływność grupy podstawowej terminala wynosi 512 kbit/s, tj. przy kanale 16 kbit/s oraz dwóch kanałach służbowo-sygnalizacyjnych uzyskuje się pojemność 72 kanałów dla urządzenia końcowego i 288 kanałów dla węzłowego. Multipleksery w terminalach końcowych obsługują dwie grupy podstawowe, natomiast w terminalach węzłowych - osiem grup podstawowych.

---

[49] W. Hołubowicz, M. Szwabe, Systemy radiowe z rozpraszaniem widma CDMA, Poznań 1998, s. 244

[50] Paczóski J., Techniczne systemy dowodzenia i kierowania w operacji wojennej „Pustynna Burza", Wiadomości Telekomunikacyjne nr 10/1992

[51] Daniluk P., Fiołna Z., Modulacje cyfrowe stosowane w wojskowym sprzęcie łączności, Warszawa 1998, s..84, gdzie określono: FDMA – modulacja ze zwielokrotnionym dostępem częstotliwościowym (ang. frequency division multiple access), FDM – modulacja wielu kanałów częstotliwościowo (ang. frequency division multiple), FM – modulacja częstotliwości (ang. frequency modulation).

W powyższych rozważaniach należy uwzględnić kanał służbowy o przepływności 16 - 32 kbit/s i sygnalizacyjne 2 x 4 kbit/s = 8 kbit/s. Podczas prowadzenia operacji „Pustynna Tarcza" i „Pustynna Burza" nastąpiło ograniczenie wartości przepływności grupy pierwotnej do 256-288 kbit/s czyli do 18 kanałów (17 użytkowych i 1 służbowego).

Zestaw stacji radioliniowych satelitarnych AN/TSC-93 oraz AN/TSC-85 pracuje w zakresie częstotliwości poniżej cywilnego „okna satelitarnego", gdzie nadawanie odbywa się w paśmie 7,9 - 8,4 GHz, natomiast odbiór w paśmie 7,25 - 7,75 GHz. Stosowana jest znaczna moc nadajnika rzędu 500 watów.

W standardowym wyposażeniu stacji znajduje się antena paraboliczna o średnicy 2,4 metra. Taki zestaw stacji końcowej umożliwia transmisję 6,12, 24 kanałów PCM 48 kbit/s oraz jednego kanału 16 kbit/s i kanału służbowego. Kanały transmisyjne danych i telefoniczne są kanałami o przepływności 16 lub 32 kbit/s, przy maksymalnej przepływność transmisji - 5 Mbit/s.

Stacja AN/TSC-85 jako mały terminal pracuje z maksymalną przepływnością 256 kbit/s. Posiada ona multiplekser z przetwarzaniem analogowo-cyfrowym (A/C). Kanał podstawowy posiada przepływności 16 kbit/s lub 32 kbit/s.

Oba typy terminali satelitarnych (węzłowy i końcowy) posiadają podobne parametry techniczne. Różnica tkwi w zastosowaniu bloków rezerwowych w AN/TSC-85.

Funkcjonowanie systemów satelitarnych telekomunikacyjnych pierwszej generacji opierało się na pracy na orbitach geostacjonarnych, czyli charakteryzowało się takimi cechami, jak:

- duże rozmiary satelitów geostacjonarnych;
- znacznych rozmiary stacji ruchomych naziemnych o dużych mocach wyjściowych torów nadawczych (rzędu setek watów lub kilku kW);
- znacznych rozmiarów anteny (nie wynikało to przede wszystkim ze stosowanego podzakresu, co z odległości którą miała pokonać falach elektromagnetyczna);
- duże rozmiary stacji zarządzających siecią;
- skomplikowany proces przekonfigurowania systemu – a szczególnie znaczny czas potrzebny na zmianę pozycji satelity;
- znaczne (największe ze wszystkich systemów i generacji) opóźnienie propagacyjne – fala musi przebyć około 70 000 kilometrów (samo opóźnienie propagacyjne wynosi 1/5 lub 1/4 sekundy).

W tabeli 7.1. przedstawiono podstawowe systemy satelitarnej telekomunikacji ruchomej pierwszej generacji.

Tab. 7.1. Satelity telekomunikacyjne pierwszej generacji

Standard	Satelita	Usługi	Szybkość transmisji danych	Zastosowanie
INMARSAT				
INMARSAT A (1982)	MARECS INMARSAT II	Fonia, teleks, faks, transmisja danych	Analogowa FM	Statki, platformy wiertnicze
INMARSAT B (1993)		Fonia, teleks, faks, transmisja danych	fonia - 16 kbit/s	Zastąpienie standardu „A"
INMARSAT C (1991)		Teleks, transmisja danych, automatyczne określanie pozycji	Teleks - 600 bitów/s	Małe statki, kutry, pojazdy
INMARSAT M (1992/93)		Fonia, faks, transmisja danych	6,4 kbit/s 300 bit/s	Samoloty komercyjne i prywatne
INMARSAT AERO–C (92)		Transmisja danych	600 bit/s	
INMARSAT AERO–L (92)		Dwukierunkowa wymiana danych		
INMARSAT AERO-H (92)		Transmisja danych, faks, fonia	10,5 /4,8 kbit/s	
INMARSAT D (1995)		Transmisja sygnałów przywoławczych		Powiadamianie, zdalne sterowanie
QUALCOMM				
OmniTracs 1989	GSTAR	Transmisja krótkich informacji automatyczne określanie pozycji (dla Ameryki Płn.)	5-15 kbit/s „w dół", 55 – 165 kbit/s „w górę"	Transport dalekosiężny
ALCATEL / QUALCOMM				
EutelTracs 1991	EUTELSAT I oraz II	Transmisja krótkich informacji automatyczne określanie pozycji (dla Europy)	5-15 kbit/s „w dół", 55 – 165 kbit/s „w górę"	Transport dalekosiężny

Źródło: K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 290

7.6. Radiokomunikacja satelitarna drugiej generacji

Założenia jakie stanęły u podwalin radiokomunikacji satelitarnej drugiej generacji obejmowały, przede wszystkim, takie aspekty, jak:

- niski koszt użytkowania terminali przez abonentów:
- zmniejszenie wymiarów urządzeń jak i samych satelitów;
- wykorzystanie niższych orbit i o charakterze niestacjonarnym;
- możliwości wielokrotnego wynoszenia satelitów przez jeden statek kosmiczny;
- cyfryzacja przesyłanych sygnałów (generowało to bezpośrednio niższy koszt usług);
- lepsza komunikacja z innymi sieciami – szczególnie stacjonarnymi.

Druga generacja satelitów telekomunikacyjnych wprowadziła zmniejszone terminale wielkości walizki lub nawet laptopa.

Zasadniczą cechą odróżniającą ten rodzaj łączności satelitarnej od następnej, trzeciej generacji, były następujące aspekty (które można przyjąć jako wady):

- najczęściej obejmowały swoim zasięgiem tylko jeden kontynent (tylko Ameryka Płn. lub tylko Australia, lub tylko Europa). Wyjątkiem jest tutaj system INMARSAT M-mini. W systemie tym zastosowano wielowiązkowość promieniowania anten, którą wymusił niski pułap zawieszenia satelity, a za tym idzie jego przemieszczanie się. Spowodowało to potrzebę tworzenia wielu komórek obsługiwanych przez system;
- w większości było wykorzystywane tylko pasmo „L". Tylko nieliczne, i to raczej o charakterze eksperymentalnym, systemy satelitarne tej generacji stosowały inne (wyższe) pasma (S i Ka);
- systemy posiadały charakter ograniczony ze względu na: obsługiwany obszar, wymiary, cenę zakupu terminala oraz eksploatacji;
- ograniczona liczba abonentów ze względu również na specjalistyczny charakter tych systemów pracujących, np. tylko na potrzeby załóg statków, samolotów, dyspozytorów i kierowców samochodów ciężarowych transportu międzynarodowego, instytucje edukacyjne itp.

Dopiero wprowadzana pod koniec lat 90-tych poprzedniego wieku generacja satelitów pozwoliła „upowszechnić" usługi łączności satelitarnej powodując, że tego typu medium komunikacyjne staje się osobistym. Dopiero trzecia generacja satelitów telekomunikacyjnych zaczyna realizować założenia satelitarnej radiokomunikacji osobistej.

W poniższej tabeli zestawiono najważniejsze systemy telekomunikacji satelitarnej, które można określać mianem drugiej generacji.

Tab.7.2. Satelity telekomunikacyjne drugiej generacji

Standard	Satelita	Usługi	Szybkość transmisji danych	Zastosowanie
INMARSAT				
INMARSAT M (1996)	INMARSAT III	Fonia, teleks, faks, transmisja danych paging	2,4 kbit/s	Przenośne terminale wielkości laptopa
OPTUS COMMS.				
MOBILE-SAT (1994)	GSTAR	transmisja danych fonia faks automatyczne określanie pozycji (dla Australii)	2,4 kbit/s 6,4 kbit/s	Łączność na potrzeby wsi (Australia)
AMSC/TMI				
MSAT 1994	EUTELSAT I oraz II		1,2 / 5 / 9,6 kbit/s	Pojazdy, łodzie, samoloty
ESA				
PRODAT-II	EMS ITAL-SAT	Transmisja z buforowaniem (dla Europy)	600 bit/s 1,5 kbit/s	Zarządzanie flotą, terminale przenośne
MSBN	LLM ARTEMS	Fonia Transmisja danych (dla Europy)	2,4 kbit/s 6,4 kbit/s	

Źródło: K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 292

7.7. Radiokomunikacja satelitarna trzeciej generacji

U podstaw tej generacji telekomunikacyjnych systemów satelitarnych stało założenie, że użytkownik takiego systemu jest osiągalny w dowolnym miejscu kuli ziemskiej poprzez dowolną sieć pod jednoznacznym numerem identyfikacyjnym. Sieć satelitarna jest jedną z wielu sieci telekomunikacyjnych, w których pracuje abonent. Jeśli jego mobilność nie pozwoli na zestawienie całego połączenia siecią kablową, jeśli jego lokalizacja nie pozwala skorzystać z sieci DECT lub GSM, wtedy realizowane jest z elementów toru telekomunikacyjnego za pomocą satelity radiokomunikacyjnego.

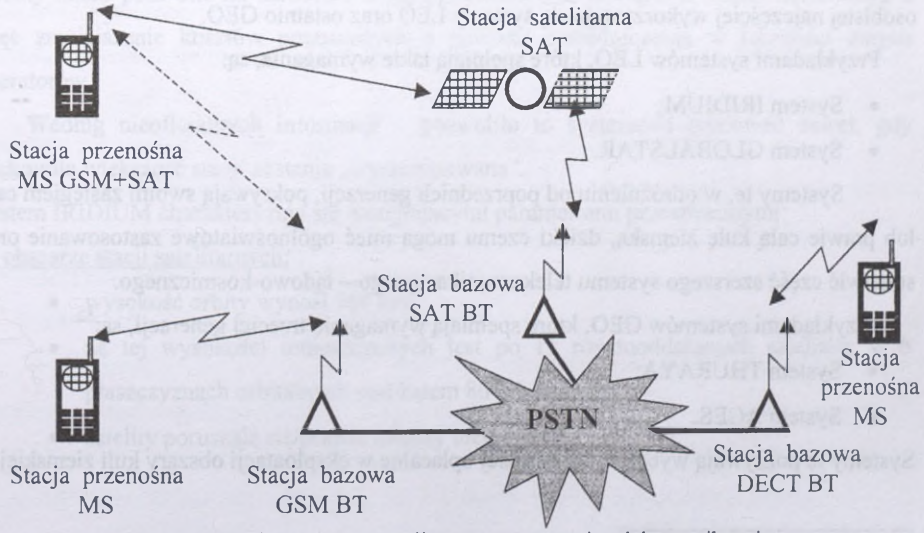
Najczęściej taki system przedstawia się jako kilka warstw telekomunikacyjnych:

- część kablowa (zwana też przewodową);
- część radiowa (zwana bezprzewodową).

Część radiowa składa się z następujących warstw:

- najniższy poziom – pikokomórki, łączność wewnątrz budynków (praca np. DECT) ;
- niski poziom – mikrokomórki – centra miast, dworce itp. (praca DCS 1800 MHz);
- wyższy poziom – makrokomórki – obszar o umiarkowanym zaludnieniu (praca GSM 800 MHz);
- najwyższy poziom (nadrzędny nad pozostałymi radiowymi) – megakomórki - obszary bez zasięgu telefonii komórkowej, bezprzewodowej, bez sieci kablowej lub w przypadku przeciążeń wymienionych systemów (praca systemów satelitarnych).

Na rys. 7.1. przedstawiono miejsce systemu satelitarnego w systemie telekomunikacyjnym.



Rys. 7.1. Miejsce systemu satelitarnego w systemie telekomunikacyjnym
Źródło: opracowanie własne

Jak wynika z powyższego rysunku, u podstaw trzeciej generacji radiokomunikacji satelitarnej stoi zdefiniowanie nowego charakteru terminala przenośnego, który wyraża się następującymi cechami:

- małe wymiary;
- antena (anteny) często zamontowana bezpośrednio na korpusie urządzenia;
- obsługa urządzenia poprzez wbudowaną klawiaturę lub dołączony laptop;
- moc toru nadawczego urządzenia ręcznego (ang. „handy") do 1 W;
- moc toru nadawczego urządzenia przenośnego (ang. „portable") do 10 – 15 W;
- przy stosowaniu urządzeń pokładowych (w samochodach, w statkach lub w samolotach) stosowanie zewnętrznych anten dookólnych – np. tzw. „grzybków";
- wskazanym jest uwzględnienie pracy urządzenia jako dwupasmowego (ang. duoband), gdzie w przypadku zerwania łączności z satelitą nawiązywana jest łączność ze stacją bazową systemu naziemnego (pracującym w innym paśmie np. GSM lub DECT) lub odwrotnie – łącze satelitarne zostaje zestawiane, gdy łączność „lądowa" zostaje zerwana, czy to z powodu zbyt dużej odległości od stacji bazowej, czy to „zatkania" sieci naziemnej;
- urządzenie przenośne powinno realizować transmisję fonii, danych, usługi przywoławcze (paging) oraz wymianę poczty elektronicznej.

Uwzględniając trzy klasy systemów satelitarnych wyodrębnianych ze względu na wysokość orbity, należy stwierdzić, że do zastosowania w sieciach satelitarnej łączności osobistej najczęściej wykorzystuje się systemy LEO oraz ostatnio GEO.

Przykładami systemów LEO, które spełniają takie wymagania, są:

- System IRIDIUM;
- System GLOBALSTAR.

Systemy te, w odróżnieniu od poprzednich generacji, pokrywają swoim zasięgiem całą lub prawie całą kulę ziemską, dzięki czemu mogą mieć ogólnoświatowe zastosowanie oraz stanowić część szerszego systemu telekomunikacyjnego – lądowo-kosmicznego.

Przykładami systemów GEO, które spełniają wymagania trzeciej generacji, są:[52]

- System THURAYA;
- System ACES.

Systemy te pokrywają wybrane, najbardziej opłacalne w eksploatacji obszary kuli ziemskiej.

[52] R. J. Katulski, M. Mikołajski, Współczesna telekomunikacja satelitarna, Przegląd Telekomunikacyjny, 2-3/2003

7.7.1. Systemy niskoorbitowe

a) SYSTEM IRIDIUM[53]

System IRIDIUM jest zainicjowanym w 1990 roku, olbrzymim technologicznym i organizacyjnym przedsięwzięciem pod patronatem firmy Motorola Satellite Corp.

Nazwa systemu pochodzi od pierwiastka o liczbie atomowej 77, choć w rzeczywistości w systemie funkcjonuje 66 satelitów. Taką liczbę satelitów światowa prasa tłumaczyła znacznymi problemami ekonomicznymi konsorcjum. Firma oficjalnie tłumaczyła się postępem technologicznym, który pozwolił na zmniejszenie planowanej ich liczby.

W programie uczestniczy kilka państw, w tym USA, Chiny, Rosja. Uczestnictwo krajów poza USA wynikało z wykorzystania ich rakietowego potencjału technologicznego do transportu niespotykanej dotychczas liczby wynoszonych w kosmos 66 satelitów (same Stanu Zjednoczone nie były w stanie tego zrealizować).

Do momentu wyniesienia niezbędnej liczy satelitów oficjalnie znane było tylko „cywilne" zastosowanie systemu. Pod koniec lat 90-tych jednak w wyniku kłopotów finansowych system rozpoczął świadczenie usług na zamówienie Departamentu Obrony USA. Nie przypadkowa więc była jego „reaktywacja" w konflikcie zbrojnym w Afganistanie.

Koncepcja systemu oparła się na zapewnieniu łączności bez pośrednictwa stacji bazowych naziemnych. Dla łączności dla większych dystansów niż zasięg jednej stacji satelitarnej, zachodzi możliwość komunikacji poprzez kolejne satelity.

Według oficjalnych opinii, oparcie pracy systemu na łączności poprzez poszczególne satelity miało pozwolić na skrócenie drogi połączenia (nie obciążanie części naziemnej), a więc zmniejszenie kosztów ponoszonych z powodu pośredniczenia w łączności innych operatorów.

Według nieoficjalnych informacji – pozwoliło to systemowi pracować nawet, gdy znakomita większość stacji zostanie „wyeliminowana".

System IRIDIUM charakteryzuje się następującymi parametrami przestrzennymi:

W obszarze stacji satelitarnych:

- wysokość orbity wynosi 780 km;
- na tej wysokości umieszczonych jest po 11 równooddalonych satelitów w 6 płaszczyznach orbitalnych pod kątem 86^0 do równika;
- satelity poruszają się prawie między biegunami;

[53] K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 298-300

- satelity w płaszczyznach sąsiednich obracają się w tym samym kierunku i z przesunięciem w fazie (pierwszy i ósmy w przeciwnych fazach). Pozwoliło to zapewnić dobrą widoczność satelitów z ziemi;
- każdy satelita może kierować połączenia do czterech sąsiednich satelitów:
  - innego satelity z tej samej orbity – poprzedzającego i następującego;
  - dwóch satelitów z sąsiadującej orbity.
- łączność międzysatelitarne realizowane są w podzakresie 24 GHz;
- cztery anteny zamontowane na każdym satelicie, determinują liczbę satelitów łączności bezpośredniej jaką może utrzymywać;
- średni czas widzialności przemieszczającego satelity wynosi 5,54 min;
- minimalny kąt elewacji dla łączności określono na 8,2 ^{0};
- czas działania satelity zdefiniowano na około 5 lat;
- z tak krótkiego czasu życia wyniknęła potrzeba zbudowania całej linii produkcyjnej na potrzeby systemu IRIDIUM;

W obszarze stacji naziemnych:

- zespół zarządzająco-stacjonarny w pierwotnych planach miał posiadać 250 stacji naziemnych (ang. Gateways) i 2 stacje kontrolno-zarządzające. Ostatecznie, ze względów ekonomicznych (i nieoficjalnie bezpieczeństwa systemu) uwzględniono realizację tylko 15 stacji naziemnych;
- stacja naziemna realizuje przede wszystkim styk kablowy (czasami radiowy) z siecią publiczną. Styk radiowy satelitarny tej stacji realizuje zespół radiostacji mikrofalowej z dwoma zestawami antenowymi, śledzącymi niezależnie po jednym satelicie;
- stacja naziemna posiada 2 zestawy nadawczo-odbiorcze wraz z antenami pracujące w zakresie 20/30 GHz – do łączności z aktywnym satelitą i nadchodzącym;

W obszarze dostępu i tworzenia komórek

- praca odbywa się z wykorzystaniem wielodostępu typu FDMA/TDMA, co oznacza wielokrotne użycie tych samych kanałów (tak jak w GSM w poszczególnych komórkach);
- jest to jeden z dwóch nielicznych systemów najnowszej generacji wykorzystujących już nienajnowszy dostęp FDMA/TDMA (inne systemy przede wszystkim stosują dostęp CDMA – a konkretnie CDMA/TDMA). Może to sugerować nie tylko cywilne zastosowanie, ale też wojskowe (technologia tego

typu dostępu stosowana jest w cyfrowych sieciach wojskowych powszechnie, jak i tryb pracy FDMA pozwala skutecznie „zagłuszać" inne systemy satelitarne – tym bardziej że satelity tego systemu krążą najbliżej Ziemi);

- liczba połączeń na jednego satelitę wynosi około – 1100;
- transmisja może mieć miejsce na tej samej częstotliwości i w tym samym przedziale czasowym w każdej z komórek;
- opóźnienie propagacyjne jest takie w systemie, jak dla innych na orbitach LEO, czyli w zakresie 2,6 – 8,2 s. Jednak ono nie wprowadza największego opóźnienia w wędrówce sygnału. Najwięcej czasu pochłania uporządkowanie strumieni binarnych w ramki TDMA oraz algorytmy analizy i syntezy sygnałów mowy:
  - dla łączności ziemia – satelita rzędu 90 ms,
  - dla łączności satelita – satelita rzędu 9 ms.

  Powyższe wartości opóźnienia stanowią następny argument dla oparcia pracy systemu w jak największym stopniu na łączach satelitarnych;
- liczba komórek tworzonych przez system jest bardzo dużą co wynika z wysokości orbity (700 km). Teoretycznie powinna ona wynosić 3168 (66 satelitów x 48 wiązki, gdyż anteny pokładowe są 48 wiązkowe dla łączności ze stacjami na ziemi);
- w rzeczywistości liczba komórek wynosi 2150, gdyż część z nich została wyłączona w okolicach okołobiegunowych, z powodu zbliżanie się orbit, a w konsekwencji nakładania się komórek;
- stosowanie hybrydowej techniki FDMA/TDMA pozwala przeglądać (skanowanie) zestawy po 12 komórek przez jednego satelitę;
- dupleks realizowany jest w dziedzinie czasu (TDD);
- włączanie / wyłączanie tak znacznej liczy satelitów na tak wielu orbitach odbywa się według skomplikowanych algorytmów pobieranych ze specjalnych matryc zwanych z ang. look-up-table;
- look-up table pozwala dla każdego satelity pobrać niezbędne dane do obliczenia przez pokładowy komputer (mikroprocesor) długości i szerokości geograficznej środka bieżącej komórki, nad którą znajduje się satelita oraz pozostałych komórek. Tak obliczone wartości mają na celu wyznaczenie odległości kątowych pomiędzy bieżąca komórką i jej sąsiednimi komórkami z sześciu sąsiednich satelitów;

- proces obliczenia związany z wyłączania komórek w zależności od wartości odległości między centrami komórek powtarzany jest co $0,1^0$ zmiany szerokości geograficznej w każdym satelicie;

W obszarze radiowym:

- transmisja w kanale radiowym obejmuje:
  - pracę dla terminala abonenckiego UPLINK i DOWNLINK w paśmie L;
  - łącze satelita i stacja stała w paśmie Ka (DOWNLINK: 29,1 – 29,3 GHz, UPLINK: 19,4 – 19,6 GHz);
  - łącze międzysatelitarne w paśmie Ka 23,18 – 23,31 GHz.;
- kodowanie mowy odbywa się z szybkością 2,4 lub 4,8 kbit/s;
- stosowana modulacja w systemie to QPSK;
- transmisja danych realizowana jest z szybkością 2,4 kbit/s, gdzie istnieje możliwość pracy typu faks, krótkie wiadomości, przywoływanie oraz lokalizacja;
- praca terminala przenośnego naziemnego jest realizowana w układzie dwuzakresowym (ang. duoband) – tj. praca w sieci satelitarnej, jak i np. w telefonii komórkowej została wymuszona początkową porażką projektu, gdy usługi świadczone tylko przez terminale satelitarne nie były tanie i generowały zbyt złożone wymagania nawiązania łączności (konieczność wyjścia z budynku, znalezienia miejsca nieosłoniętego przez drzewa lub budynki – co dla abonentów docelowych, biznesmenów było wymaganiem nie do przyjęcia).

b) SYSTEM GLOBALSTAR[54]

System GLOBALSTAR stworzony został przez firmę Loral Communications i stał się głównym konkurentem systemu IRIDIUM. Jako konkurent zaproponował zupełnie odmienną koncepcję funkcjonowania systemu satelitarnego.

Można wyodrębnić dwa zasadnicze obszary, które miały wyróżniać system GLOBALSTAR od swojego konkurenta. Były nimi:

a) koncepcja samego tworzenia połączeń, gdzie stacje naziemne tworzyły niezbędny element torów telekomunikacyjnych. Wyrażało się to w następujących aspektach:

- pośredniczenie cały czas części naziemnej w zestawianiu łącza dalekiego. Tor łączności obejmował drogę z terminala naziemnego do stacji satelitarnej, ze stacji satelitarnej do stałej stacji naziemnej i z niej ponownie do następnej stacji satelitarnej. Cykl ten był powtarzany, aż do momentu dotarcia do terminala adresata (albo

[54] K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 301-305

przenośnego albo stałego, np. w ramach PSTN). Łączność satelitarna traktowana jest w tym systemie jako przedłużenie naziemnej łączności ruchomej;

- taka koncepcja stworzyła wymóg przezroczystości systemy satelitarnego, co determinowało funkcjonowanie elementów naziemnych typu gateway do sieci publicznych;
- koncepcja tego typu zmniejszyła koszt poprzez redukcję systemu satelitarnego (mniej satelitów – mimo niemałej wysokości orbity);
- stworzyło to nowe wymaganie – potrzebę posiadania co najmniej jednej stacji naziemnej na jeden milion km^2. Taka gęstość stacji naziemnych, generuje wymóg znajdowania się stacji w wielu większych krajach, co z kolei pozwala na sprawowanie kontroli przez wiele państw-uczestników projektu nad funkcjonowaniem systemu, oraz jeśli jest taka potrzeba i możliwość zamykać obszar przesyłanej informacji;

b) koncepcja krążenia satelitów, czyli realizacja drugiego sposobu organizowania orbit typu LEO poprzez wykorzystanie systemu orbit z określoną inklinacją do równika (ustalony kąt inklinacji równy 52^0). Wyrażało się to w następujących aspektach:

- system GLOBALSTAR, w porównaniu z IRIDIUM, nie pokrywał obszarów okołobiegunowych. W analizowanym systemie następuje pokrycie kuli ziemskiej komórkami w zakresie +/- 70 stopni szerokości geograficznej (poza Grenlandią, płn. Kanadą itp.);
- w celu realizacji takiego sposobu funkcjonowania systemu satelity muszą krążyć w 8 płaszczyznach z przesunięciem fazy między płaszczyznami o 7,5 stopnia. Pozwala to na równoczesną „widzialność" przez terminal dwóch satelitów, co zapewnia znaczne zwiększenie niezawodność w przypadku awarii jednego z satelitów.

Pozostałymi cechami systemu GLOBALSTAR są:

- wysokość zawieszenia określono na 1389 km (a więc umieszczenie poniżej pierwszego pasa Van Allena) [55];
- większa wysokość krążenia satelitów niż w IRIDIUM powoduje mniejszą liczbę satelitów, tj. 8 płaszczyzn po 6 satelitów, jak również opóźnienia propagacyjne jest większe – rzędu 4,63 – 11,5 ms;
- czas okrążania kuli ziemskiej wynosi 114 minut;
- minimalny kąt elewacji satelity „widzianego" przez terminal przenośny wynosi 10^0;

[55] Pasy Van Allena znajdują się odpowiednio na wysokości: 2200 km oraz 18500 km

- w analizowanym systemie zastosowano technikę CDMA. Sygnał mowy poddawany jest algorytmowi kodowania mowy 4,8 / 2,4 / 1,2 kbit/s, potem realizowane jest kodowanie korekcyjne za pomocą kodu splotowego o sprawności R = ½ i długości wymuszonej K = 9. Następnie dokonywane jest rozpraszanie na osi częstotliwości, rozproszony ciąg następnie jest mnożony przez ciąg pseudolosowy w długim okresie – co pozwala rozróżnić komórki miedzy sobą. Uzupełnieniem tego procesu jest przeplot oraz poddanie się działaniu układowi repetycyjnemu;
- system pracuje w oparciu założenie, że kąt elewacji satelity musi być odpowiednio duży. Przy kątach rzędu 0 – 20 stopni występuje wielodrogowość fali, 20 – 40 stopni zachodzi odbicie dyfuzyjne fali, a 40 – 70 stopni dopiero występują własności odpowiadające łączom satelitarnym, gdzie wartości powyżej 70 stopni uważa się za doskonale przydatne do analizowanych zastosowań.

Procedura pracy terminala przenośnego w systemie GLOBALSTAR przebiega następująco:[56]

1. Po włączeniu terminala przenośnego – urządzenie zaczyna szukać możliwości pracy w sieci naziemnej.
2. W przypadku stwierdzenia braku takiej możliwości (brak zasięgu, brak dostępu), urządzenie rejestruje się w sieci satelitarnej, następnie poszukuje kanałów wywoławczych i w nich przesyła sygnał prośby umiejscowienia w systemie.
3. Następuje proces obliczania lokalizacji abonenta ruchomego i sprawdzenie jego danych w rejestratorze typu HLR (ang. Home Location Register).
4. Po określeniu położenia i potwierdzeniu jego autentyczności przez stację SSC (ang. - Satellite Station Controller), terminal dokonuje synchronizacji z kanałem sygnalizacyjnym stacji naziemnej.
5. Po zarejestrowaniu terminala przez SSC w VLR (ang. – Visitor's Location Register) kopia informacji tej trafia również do HLR.
6. Od tego momentu wszystkie wywołania abonenta terminala ruchomego mogą być kierowane za pośrednictwem PSTN, SSC i satelity do abonenta, tak jakby był w sieci naziemnej (np. wynika z tego taki sam sposób numeracji, dostęp do usług).

W strukturze systemu GLOBALSTAR definiowane są następujące styki:

- styk radiowy – między terminalem ruchomym, stacją satelitarna oraz stacją SSC;
- styk kablowy lub radiowy (radiolinia) pomiędzy stacją SSC a centralą w sieci PSTN;
- styk między centralą radiokomunikacyjną a bazami danych terminali ruchomych

[50] K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 305

7.7.2. Systemy średnioorbitowe

Przykładami systemów satelitarnych o pośredniej wysokości jest Odyssey oraz ICO.

a) SYSTEM ODYSSEY[57]

Jest to jeden z najbardziej znanych reprezentantów systemów o średniej wysokości orbit. Jest on obecnie jednym z najbardziej popularnych (choć cały czas borykającym się z kłopotami finansowymi) systemem dulanym – tj. satelitarno-komórkowej telefonii.

Cechami tego systemu, w stosunku do systemów LEO, są:

- mniejsza liczba satelitów, gdyż satelity są zawieszone wyżej niż w systemach LEO, tj. pomiędzy pasami Van Allena – na wysokości 10354 kilometrów;
- wyższe orbity pozwalają na dłuższą żywotność systemu, na około 10 lat;
- system składa się z 12 satelitów – na każdej z trzech płaszczyzn z inklinacją 55^0 umieszczono po cztery stacje (wystarcza 9 satelitów, aby zapewnić widoczność z ziemi cały czas jednego satelity);
- przedstawiona wysokość funkcjonowania systemu wymaga dłuższego czasu okrążania Ziemi przez satelitę – rzędu 359 minut. Jest to również dłuższy niż w LEO czas przejmowania połączenia między satelitami (ang. – handover);
- czas widoczności satelity przez stację naziemną jest dłuższy i wynosi około 47 minut. Tak długi czas widoczności nie wymaga skomplikowanych algorytmów przekazywania prowadzącego łączność abonenta, ale z kolei generuje problemy z reorientacją satelity, aby cały czas utrzymywał kontakt (obejmował jedną z 61 wiązek stację abonenta i bazową stację naziemną);
- również kąt minimalnej elewacji jest większy niż w systemach LEO i wynosi 22 stopnie;
- podobnie jak w GLOBALSTAR, stacja naziemna „widzi" dwie stacje satelitarne;
- występują większe wartości opóźnienia propagacyjnego niż w LEO – od 34 do 44 ms;
- nie zaplanowano przetwarzania sygnału na pokładach satelitów oraz połączeń międzysatelitarnych – tak jak to było w systemie IRIDIUM;
- dostęp zwielokrotniony typu CDMA realizowany jest pomiędzy terminalem abonenta a satelitą z wykorzystaniem podzakresów: 1610 – 1626,5 MHz UPLINK; 2483,5 – 2500 MHz DOWLINK. Komunikacja między stacją bazową naziemną a satelitą odbywa się w podzakresie 29,5 – 30 GHz UPLINK oraz 19,7 – 20,2 GHz DOWLINK;

[57] K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 307

- system obsługuje 732 komórki, co wynika z tego, że każda stacja satelitarna posiada antenę 61 wiązkową. Komórki te, przede wszystkim, są tworzone na obszarach lądowych co wynika z założeń systemu (nie wchodzi w kompetencje systemów instytucjonalnych – np. morskich INMARSAT);
- system wymaga niezbyt dużej liczby stacji naziemnych;
- każdy z 12 satelitów realizuje 4600 połączeń (jedno połączenie na 100 abonentów);

Reasumując, można stwierdzić, że system posiada wiele wspólnych cech z systemem GLOBALSTAR (dostęp CDMA, rola stacji naziemnych, brak przetwarzania sygnału na pokładzie satelity);

Procedura realizacji połączenia w systemie Odyssey wygląda następująco:

1. Sprawdzenie przez terminal ruchomy możliwości realizacji naziemnej telefonicznej łączności komórkowej (sprawdzenie obecności nośnej tych systemów).
2. W przypadku, gdy połączenie poprzez system bezprzewodowy (GSM lub DECT) staje się niemożliwe – realizowane jest inicjowanie połączenia satelitarnego.
3. Poprzez łącze satelitarne sygnał terminala trafia do stacji naziemnej systemu Odyssey, która z kolei jest podłączona do sieci PSTN.
4. Najczęściej na czas prowadzonej rozmowy poprzez łącze satelitarne nie ma potrzeby przekierowania terminala ruchomego do następnego satelity. W większości przypadków abonent pozostaje w swojej komórce satelitarnej przez cały czas rozmowy, gdyż czas widoczności satelity przez stację naziemną wynosi około 47 minut.

b) SYSTEM ICO (jako INMARSAT –P)[58]

System ICO jest zestawem satelitów krążących na orbicie MEO i charakteryzuje się następującymi cechami:

- wysokość orbity wynosi 10355 kilometrów;
- stosunkowo wysoka orbita powoduje, że okres obiegu wynosi około 359 s, a czas widoczności około 58 minut;
- zespół kosmiczny liczy 12 satelitów (w tym 2 satelity zapasowe) rozmieszczono w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach o inklinacji 45^0. Powoduje to, że co najmniej dwa satelity są widoczne w jednym momencie z ziemi;
- minimalny kąt elewacji satelity względem abonenta terminala ruchomego wynosi 10^0 ;
- przejmowanie abonenta naziemnego jest rzadkie;

[58] K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 309

- przewidziano 12 stacji naziemnych;
- wysoka orbita powoduje znaczne opóźnienie propagacyjne rzędu 48 ms (większe niż w LEO);
- satelity posiadają anteny 163 wiązkowe, co daje w sumie 1630 komórek;
- czas życia satelity wynosi około 10 lat;
- dostęp do sieci został określony jako TDMA;
- zastosowano modulację typu QPSK;
- transmisja mowy realizowana jest z przepływnością 4,8 kbit/s, danych 2,4 kbit/s. Przy zastosowaniu nowoczesnych terminali pokładowych transmisja danych możliwa jest nawet do 19,2 kbit/s; przy zastosowaniu w stacjach stałych – nawet do 64 kbit/s;
- oprócz podstawowych dwóch usług są realizowane inne, takie jak: przesyłanie faksu i plików, dostęp do bazy danych, ograniczone video, przesyłanie dyfuzyjne oraz przesyłanie krótkich informacji (SMS – ang. Short Messaging Service) z dynamicznym zwiększaniem mocy stacji bazowej w celu potwierdzenia odbioru;
- w sieci dokonano pogrupowania w zespoły 4 komórkowe, co pozwala wielokrotnie wykorzystać wygenerowanych 750 nośnych;
- kanał radiowy realizuje się w czterech podzakresach, tj. dla łączy:
  - od satelity do terminala: 1980 MHz – 2010 MHz;
  - od terminala do satelity: 2170 MHz – 2200 MHz;
  - od satelity do stacji naziemnej: 6975 MHz – 7075 MHz;
  - od stacji naziemnej do satelity: 5150 MHz – 5250 MHz.

W systemie pracują terminale ręczne wielkości telefonu komórkowego z niewielką anteną.

7.7.3. Systemy geostacjonarne jako satelitarne systemy telefonii komórkowej

Nowoczesne systemy GEO charakteryzują się zupełnie innymi cechami niż systemy LEO. Przede wszystkim, obsługują określone obszaru kuli (najczęściej najbardziej zaludnione) z wykorzystaniem nielicznych satelitów zawieszonych na stałych współrzędnych.

Są to pierwsze systemy z maksymalnym wykorzystaniem takich samych rozwiązań jak w systemach GSM. Jako przykład charakterystycznego dla najnowocześniejszych i najbardziej ekonomicznych systemów satelitarnej telefonii komórkowej wybrano system THURAYA.[59]

Struktura omawianego systemu opiera się o następujące elementy:

- segment satelitarny;

[59] .J. Katulski, M. Mikołajski, Współczesna telekomunikacja satelitarna, Przegląd Telekomunikacyjny, 2-3/2003

- sieć stacji naziemnych;
- terminale abonentów.

System został zaplanowany dla obszaru docelowego obejmującego: Europę; północną i centralną część Afryki, centralną i południową część Azji oraz Środkowy Wschód. Rozpoczął on funkcjonowanie w 2001 roku i składa się z jednego satelity (docelowo mają być dwa), którego antena wytwarza 250 wiązek o promieniu 450 kilometrów.

Wykorzystywane są przez niego częstotliwości obejmują następujące podzakresy:

a) dla relacji stacja stała – stacja satelitarna w paśmie C, tj.:

- UPLINK – 6,425 GHz – 6,725 GHz;
- DOWNLINK – 3,4 GHz – 3,625 GHz;

b) dla relacji stacja ruchoma – stacja satelitarna w paśmie L, tj.:

- UPLINK – 1,6265 GHz – 1,6605 GHz;
- DOWNLINK – 1,525 GHz – 1,559 GHz.

Wielodostęp systemu realizowany jest w dziedzinie czasu i częstotliwości jako TDMA/FDMA, gdzie ramkę zbudowano z 8 szczelin czasowych, a kanały częstotliwości występują co 27,7 kHz.

System realizuje takie usługi abonenckie, jak:

- transmisja sygnału mowy;
- transmisja danych i faksowa z przepływnością 9,6 kbit/s;
- transmisja SMS;

W zakresie usług sieciowych zawarto:

- połączenia zwrotne;
- przenoszenie połączeń;
- identyfikacja numeru wywołującego;
- zamknięte grupy abonenckie;
- połączenia oczekujące;
- informacje billingowe w trakcie połączenia;
- prepaid (co umożliwia wypożyczanie aparatów przez operatora).

Aparat telefoniczny THURAYA jest dwusystemowym urządzeniem realizującym połączenie przede wszystkim w sieciach naziemnej telefonii komórkowej. Dopiero w sytuacji utraty takiej łączności dokonywana jest próba łączności poprzez satelitę. W taki sposób system satelitarny uzupełnia system naziemnej telefonii komórkowej.

7.8. Możliwości urządzeń wojskowego radiodostępu satelitarnego

Radiokomunikacja ruchoma satelitarna posiada swoje zastosowanie również w systemach wojskowych. Przykładem takich systemów są sieci funkcjonujące w zakresie UHF, gdzie mogą spełniać rolę naziemnych, lotniczych i satelitarnych.

Reprezentantami urządzeń pracujących w militarnych jednokanałowych sieciach satelitarnych są wojskowe terminale radiotelefoniczne typu: HST-4/AN/PSC-3 (stosowane w Zatoce Perskiej), AN/URC-101/104/110 oraz LST-5C. Urządzenia takie pracują w najniższych zakresach częstotliwości przeznaczonych dla wojskowej komunikacji poprzez satelitę, tj. w paśmie 225 - 400 MHz, co sugeruje również wykorzystanie ich do łączności z innymi radiostacjami pola walki np. AN/PRC -117 lub AN/VRC-98. Pozwalają one jako urządzenia przenośne na prowadzenie łączności jednokanałowej - telefonicznej, transmisji danych oraz odbioru sygnałów wzorcowych (nawigacyjnych).

Radiostacje takie pracują z modulacją amplitudy, częstotliwości i impulsu, z mocą wyjściową nadajnika standardową dla urządzeń przenośnych, tj. 2 - 18 watów. Mogą one służyć nie tylko do łączności w sieciach satelitarnych, ale również w lotniczych pasmach decymetrowych 222 – 395 MHz (praca emisjami z modulacją AM) oraz radiotelefonicznych cywilnych w zakresie 300 - 345 MHz (praca emisjami z modulacją FM) oraz wojskowych (sieć lotniskowa 370 - 395 MHz, modulacja FM).[60] Istnieje również możliwość pracy w paśmie namiaru satelitarnego jako „radioboi" na częstotliwościach 400 - 415 MHz.

Wyposażeniem zewnętrznym, opcjonalnym jest komputer (laptop) i mała drukarka. Urządzenia tego typu przejmowały cały ciężar dalekosiężnej wymiany informacji w pierwszym okresie pracy sieci łączności po wylądowaniu sił głównych w Zatoce Perskiej (do momentu rozpoczęcia eksploatacji sieci radioliniowej - troposferycznej i satelitarnej, a w dalszym etapie horyzontowej).

Całe urządzenie ze zwinięta anteną mieści się w niewielkiej walizce. Antena, najczęściej krzyżowa wieloelementowa z reflektorem parasolowym po rozłożeniu zajmuje niewiele miejsca. Antena jest dostosowana do pracy geostacjonarnej lub krótkich seansów, określonych w specjalnych tabelach przelotu satelitów z odpowiednim wyprzedzeniem.

---

[60] Na podstawie rozproszonych materiałów reklamowych firmy MOTOROLA

7.9. Zakresy częstotliwości wykorzystywane przez satelity radiokomunikacji ruchomej

W tabeli 7.3. zestawiono wykorzystywane pasma częstotliwości przez omawiane systemy telekomunikacyjne oraz stosowane przepływności.

Tab. 7.3. Wybrane parametry systemów telekomunikacji satelitarnej trzeciej generacji

System	Pasmo częstotliwości		Usługi	
	Łącze do użytkownika	Łącze do stacji naziemnej stałej	Transmisja mowy [kbit/s]	Transmisja danych [kbit/s]
GLOBALSTAR	L (w górę) S (w dół)	C	9,6	9,6
IRIDIUM	L	Ka	2,4	2,4
ODYSEY	L/S	Ka	9,6	9,6
ICO	S	C	4,8	2,4 – 64
TELEDESIC	Ku	Ka		16 - 2048

Źródło: K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 296

W charakterystyce częstotliwościowej systemów satelitarnych używa się nazw pasm wykorzystujących określenia literowe (podobnie jak w radiolokacji).

W celu łatwiejszego zorientowania się w wartościach częstotliwości w poniższej tabeli przedstawiono wykaz takich pasma wraz z odpowiadającymi im wartościami częstotliwości.

Tab. 7.4. Pasma SHF i EHF wykorzystywane przez satelity radiokomunikacyjne

Określenie pasma	Podzakres częstotliwości
Pasmo L	1 MHz – 2 MHz
Pasmo S	2 MHz – 4 MHz
Pasmo C	4 MHz – 8 MHz
Pasmo X	8 MHz –12 MHz
Pasmo Ku	12 MHz – 18 MHz
Pasmo K	18 MHz – 27 MHz
Pasmo Ka	27 MHz – 40 MHz
Pasmo W	40 MHz –100 MHz

Źródło: K. Wesołowski, Systemy ..., op. cit., s. 315

ZAKOŃCZENIE

Treści zawarte w niniejszym opracowaniu nie wyczerpują w całości tematyki radiokomunikacji. Szczególnie dotyczy to systemów stacjonarnych. Co prawda odgrywają one coraz mniejszą rolę w telekomunikacji, niż kilkadziesiąt lat temu, ale w dalszym ciągu są wykorzystywane w znacznym stopniu przez służby morskie, lotnictwo oraz wojsko. Są to systemy na wskroś nowoczesne, uzupełniające w stopniu wystarczającym obszar będący domeną systemów radiokomunikacji ruchomej.

Zamysłem autora jest w najbliższym czasie zawrzeć w oddzielnym opracowaniu problematykę stacjonarnych systemów radiokomunikacyjnych, gdzie szczególnej analizie będą poddane systemy krótkofalowe oraz satelitarne.

Również w obszarze czysto wojskowej radiokomunikacji ruchomej (w ujęciu wojskowym – określanej mianem polowej lub mobilnej) w niniejszym opracowaniu znalazło się niewiele zagadnień. Wynikało to przede wszystkim z postawionego celu przed napisaniem niniejszego materiału, a który związany był bezpośrednio z pokazaniem jak największej liczby różnych rodzajów radiokomunikacji ruchomej. Poza tym, istnieje już kilku pozycji dotyczących bardziej szczegółowo obszaru wojskowego, wydanych w ramach opracowań Akademii Obrony Narodowej, które zostały zawarte w wykazie literatury.

BIBLIOGRAFIA

1. R. Antoniewicz, D. Kobryń, Transmisja danych w systemach telekomunikacji ruchomej – zmiany w systemie GSM, Przegląd Telekomunikacyjny, 2/2000
2. D. J. Bem, Satelitarne systemy dostępowe, Przegląd Telekomunikacyjny, 8-9/2000
3. J. Bogucki, Satelity niskoorbitowe, Przegląd Telekomunikacyjny, 12/1998
4. J. Czajkowski, Światowy morski system łączności alarmowej i bezpieczeństwa GMDSS, Gdańsk 1994
5. P. Daniluk, Z. Fiołna, Modulacje stosowane w wojskowym sprzęcie łączności, Warszawa 1998
6. P. Daniluk, Radiostacje pola walki, AON, Warszawa 2003
7. A. Dąbrowski, A. Marzecki, Systemy radiowego dostępu w sieci TP S.A., Przegląd Telekomunikacyjny, 3/1999
8. M. Dąbrowski, Ewolucja systemów komórkowych – systemy trzeciej generacji, Przegląd Telekomunikacyjny, 5/1999
9. M. Dąbrowski, Systemy komórkowe do roku 2010, Przegląd Telekomunikacyjny, 8-9/2001
10. M.. Dąbrowski, Ewolucja systemów komórkowych - system trzeciej generacji, Przegląd Telekomunikacyjny, 5/1999
11. W. Hołubowicz, Systemy telefonii bezprzewodowej, Poznań 1997
12. W. Hołubowicz, R. Gasiński, Standaryzacja interfejsu radiowego systemów cyfrowej telefonii komórkowej trzeciej generacji, Przegląd Telekomunikacyjny, 3/1998
13. W. Hołubowicz, P. Płóciennik, Cyfrowe systemy telefonii komórkowej GSM, Holkom, Poznań 1998
14. W. Hołubowicz, M. Szwabe, Systemy radiowe z rozpraszaniem widma CDMA. Teoria, standardy, aplikacje, Poznań 1998
15. R. J. Katulski, Rozwój i możliwości użytkowe systemu INMARSAT, Przegląd Telekomunikacyjny, 12/2000
16. R. J. Katulski, S. Gajewski, A. Marczak, J. Stefański, UMTS – telekomunikacja bezprzewodowa na progu XXI wieku, Przegląd Telekomunikacyjny, 1/2001
17. R. J. Katulski, A. Kosiński, W. Pawłowski, J. Żurek, Stan obecny i perspektywy radiokomunikacji morskiej, Przegląd Telekomunikacyjny, 12,1999

18. R. J. Katulski, A. Kosiński, J. Żurek, Perspektywy rozwoju nowoczesnej radiokomunikacji morskiej, Przegląd Telekomunikacyjny, 11/2001
19. R. J. Katulski, M. Mikołajski, Uwarunkowania rozwojowe w telekomunikacji satelitarnej, Przegląd Telekomunikacyjny, 7/2003
20. R. J. Katulski, M. Mikołajski, Współczesna telekomunikacja satelitarna, Przegląd Telekomunikacyjny, 2-3/2003
21. L. Kiełtyka, Komunikacja w zarządzaniu, Placet, Warszawa 2002
22. J. Kołakowski, J. Cichocki, UMTS – System telefonii komórkowej trzeciej generacji, WKŁ, Warszawa 2003
23. K. Kordybach, jakość usług w systemie UMTS, Przegląd Telekomunikacyjny, 10/2002
24. J. Krasoń, TETRA – otwarty standard cyfrowej łączności trankingowej, Przegląd Telekomunikacyjny, 3/2000
25. P. Małkiewicz, Usługi transmisji danych w sieciach GSM, Przegląd Telekomunikacyjny, 2/1999
26. J. Paczóski, Techniczne systemy dowodzenia i kierowania w operacji wojennej „Pustynna Burza", Wiadomości Telekomunikacyjne nr 10/1992
27. A. Simon, W. Walczak, Sieci komórkowe GSM/GPRS, XYLAB, Kraków 2002
28. Vademecum teleinformatyka, Tom I i II, Praca zbiorowa, Warzsawa 2002
29. M. Warcko, Upadłe satelity, Home & Market, 10/1999.
30. K. Wesołowski, Systemy radiokomunikacji ruchomej, WKŁ, Warszawa 1998
31. www.idea.com.pl
32. www.plusgsm.pl

Załącznik – Wykaz wykorzystania częstotliwości w zakresie fal radiowych powyżej 30 MHz

CZĘSTOTLIWOŚĆ	ZASTOSOWANIE I SŁUŻBA	UWAGI
30 010 -37 500 kHz	- służba stała - służba ruchoma (radiotelefony)	
37 500 -38 250 kHz	- służba stała - służba ruchoma (radiotelefony) - radioastronomia	
38 250 - 40 980 kHz	- służba stała - służba ruchoma (radiotelefony)	40,6-40,7 MHz prace badawcze
40 980 -41 015 kHz	- służba kosmicznego nasłuchu - służba stała - służba ruchoma	
41 015 -44 000 kHz	- służba ruchoma (radiotelefony)	
44 000 - 47 000 kHz	- służba ruchoma (radiotelefony)	
47 000 - 50 000 kHz	- radiodyfuzja (telewizja - wycofywana) - służba stała - służba ruchoma (radiotelefony)	
50 000 - 52 000 kHz	- służba amatorska	
52 000 - 65 750 kHz	- służba stała - służba ruchoma	
65 750 - 74 000 kHz	- radiofonia - Europa Wschodnia - służby stałe i ruchome (radiotelefony Eur. Zach.)	
74 000 - 74 800 kHz	- służba stała i ruchoma	
74 800 - 75 200 kHz	- radionawigacja lotnicza (pomoce nawigacyjne)	
75 200 - 87 500 kHz	- służba stała - służba ruchoma	
87 500 - 104 000 kHz	- radiofonia	
104,0 - 108,0 MHz	- radiofonia - służba ruchoma lotniskowa (wycofywana)	do 25 W
108,0 - 117,975 MHz	- radiolatarnie lotnicze (typu - VOR)	
117,975 -121,45 MHz	- łączność lotnicza stała - łączność lotnicza ruchoma	
121,45 - 121,55 MHz	**- pasmo ochronne dla częst. bezpieczeństwa lotniczego zakresu metrowego (118 - 136 MHz)**	**częst. bezp. f=121 500 kHz**
121,550 - 136,0 MHz	- łączność lotnicza stała - łączność lotnicza ruchoma	123,1 MHz lot. zapas. częst. rat.
136,0 - 137,0 MHz	- służba stała - służba ruchoma	136 - 138 MHz fax. meteo.
137,0 - 138,0 MHz	- służby kosmiczne (nasłuch) - meteorologia kosmiczna - służba stała - służba ruchoma	136 - 138 MHz faxymilie meteorologiczne
138,0 - 144,0 MHz	- służba ruchoma lotnicza - badania kosmiczne (143,6 - 143,65 MHz)	

CZĘSTOTLIWOŚĆ	ZASTOSOWANIE I SŁUŻBA	UWAGI
144,0 - 146,0 MHz	- służba amatorska - służba satelitarna amatorska	
146,0 - 148,0 MHz	- służba stała lądowa - służba ruchoma lądowa	
148,0 - 149,9 MHz	- służba stała - służba ruchoma lądowa - łączność satelitarna	
149,9 - 150,05 MHz	- radionawigacja satelitarna - radioastronomia satelitarna	
150,05 - 153,0 MHz	- służba ruchoma (oprócz lotniczej) - radioastronomia	
153,0 - 154,0 MHz	- służba ruchoma (oprócz lotniczej) - meteorologia	
154,0 -156,7625 MHz	- służba ruchoma (oprócz lotniczej)	
156,7625 -156,8375 MHz	- sygnały bezp. i wywołania w służbie morskiej	
156,8375 -174,0 MHz	- służba ruchoma (oprócz lotniczej) - służba stała	
174 -223 MHz	- telewizja	
223 - 230 MHz	- służba stała - służba ruchoma - telewizja	
230,0 - 242,95 MHz	- służba stała - służba ruchoma	
242,95 - 243,05 MHz	**- pasmo ochronne dla częstotliwości bezpieczeństwa lotniczego zakresu decymetrowego f=243,0 MHz /A3E/**	
243,05 - 267,0 MHz	- służba stała - służba ruchoma	
267 - 273 MHz	- służba stała - służba ruchoma - służba kosmiczna	
273 - 322 MHz	- służba stała - służba ruchoma	
322 - 328,6 MHz	- służba stała - służba ruchoma - radioastronomia	
328,6 - 335,4 MHz	- nawigacja lotnicza	
335,4 - 399,9 MHz	- służba stała - służba ruchoma	
399,9 - 400,05 MHz	- radionawigacja satelitarna - radioastronomia satelitarna	
400,5 - 400,15 MHz	- kosmiczna i satelitarna służba standardowych częstotliwości oraz czasu f = 400 000 kHz	

CZĘSTOTLIWOŚĆ	ZASTOSOWANIE I SŁUŻBA	UWAGI
400,15 - 402,0 MHz	- satelity meteorologiczne - trafik i poszukiwania kos. (kosmos - Ziemia) - wspomaganie meteo. - 401,0 MHz ± 25 kHz	
402 - 403 MHz	- wspomaganie meteorologiczne - kosmiczne służby obserwacji Ziemi - satelity meteorologiczne - służba ruchoma (bez lotniczej)	
403 - 406 MHz	- pomoce meteorologiczne - służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej)	
406 - 406,1 MHz	- służba ruchoma satelitarna (Ziemia - kosmos)	
406,1 - 410 MHz	- służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej) - radioastronomia	
410 - 420 MHz	- służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej)	
420- 430 MHz	- służba stała - służba ruchoma - radiolokacja - wysokościomierze	
430 - 440 MHz	- służba amatorska - radiolokacja	433,05-434,79 MHz bad. nauk
440 - 450 MHz	- służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej) - radioastronomia	
450 - 460 MHz	- służba morska - służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej) radiotelefoniczna ruchoma wewnętrzna :457,525; 457,550; 457,575 467,525; 467,550; 467,575 MHz; ruchoma terytorialna: 457,525; 457,550; 457,575; 457,6; 467,75; 467,775 ;467,8; 467,825 MHz	
460- 470 MHz	- służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej) - satelity meteorologiczne (kosmos - Ziemia)	
470 - 790 MHz	- radiodyfuzja (telewizja) - radionawigacja (UK i Belgia - wycofywana)	
790 - 862 MHz	- służba stała (łączność troposferyczna) - służba ruchoma lądowa - radiodyfuzja (telewizja)	

CZĘSTOTLIWOŚĆ	ZASTOSOWANIE I SŁUŻBA	UWAGI
862 - 890 MHz	- służba stała (łączność troposferyczna) - służba ruchoma lądowa - radiodyfuzja (telewizja - Afryka)	
890 - 960 MHz	- służba stała (łączność troposferyczna) - służba ruchoma lądowa - radiodyfuzja (telewizja - Afryka)	902 - 928 MHz: bad. naukowe, med. i przemysł
960 - 1215 MHz	- radionawigacja lotnicza (pomoce nawigacyjne)	
1215 - 1240 MHz	- radionawigacja satelitarna - radiolokacja	
1240 - 1260 MHz	- radiolokacja - nawigacja satelitarna - służba amatorska	
1260 - 1300 MHz	- radiolokacja - służba amatorska - służba satelitarna amatorska	1260- 1270 MHz satelitarna amatorska
1300 - 1350 MHz	- radionawigacja lotnicza - radiolokacja	
1350 - 1400 MHz	- służba stała - służba ruchoma lądowa - radiolokacja	
1400 - 1427 MHz	- poszukiwania kosmiczne - służby satelitarne - radioastronomia kosmiczna	Wszystkie rodzaje łącz. kosmicznej
1427 - 1429 MHz	- poszukiwania kosmiczne - służby satelitarne - radioastronomia kosmiczna - służba stała - służba ruchoma	
1429 - 1525 MHz	- służba stała - służba ruchoma	
1525 - 1530 MHz	- służby kosmiczne - służba stała - służba ruchoma	
1530 - 1535 MHz	- służby kosmiczne - morska ruchoma służba satelitarna - lądowa ruchoma służba satelitarna	
1535 - 1544 MHz	- ruchoma morska służba satelitarna - służba ruchoma	
1544 -1545 MHz	- służba ruchoma satelitarna - służba satelitarna bezp. i poszuk. kosmicznych	
1545 - 1559 MHz	- sat. służba bezp. i poszukiwań (Ziemia - kosmos) - ruchoma satelitarna służba lotnicza	1645,5 - 1646,5 MHz

CZĘSTOTLIWOŚĆ	ZASTOSOWANIE I SŁUŻBA	UWAGI
1559 -1610 MHz	- radionawigacja lotnicza - radionawigacja satelitarna (kosmos - Ziemia)	
1610 -1626,5 MHz	- radionawigacja lotnicza	
1626,5 - 1645,5 MHz	- służba satelitarna morska - służba satelitarna lotnicza - radioastronomia	
1645,5 - 1646,5 MHz	- służba ruchoma satelitarna	
1646,5 - 1660 MHz	- służba lotnicza satelitarna	
1660 - 1660,5 MHz	- łączność Ziemia -kosmos	
1660,5 - 1670 MHz	- służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej)	
1670 - 1690 MHz	- meteorologia satelitarna - radioastronomia	
1690 - 1700 MHz	- służba stała - służba ruchoma (bez lotniczej)	1691-1695 MHz; fax meteorologia
1700 - 1 710 MHz	- łączność kosmiczna (Ziemia - kosmos) - służba stała	

57688