

TORY RADIOWE I SATELITARNE

HISTORIA RADIA

Rola pięciu naukowców w powstaniu radia:

- James Clerk Maxwell – teoria elektromagnetyzmu, równania Maxwell’a (1873)
- Heinrich Rudolf Hertz – wytworzenie fali elektromagnetycznej (1888)
- Guglielmo Marconi – pierwsza transmisja radiowa na odl. 1 km (1895), patent na radio w 1897
- Aleksander Popow – transmisja telegraficzna na odl. 250 m (1896)
- Nikola Tesla – konstruktor cewki wysokonapięciowej

Gwałtowny rozwój radia w latach 20-tych i 30-tych ubiegłego stulecia, powstanie telewizji w latach 50-tych.

Transmisja danych cyfrowych drogą radiową.

Widmo Elektromagnetyczne

Legenda:

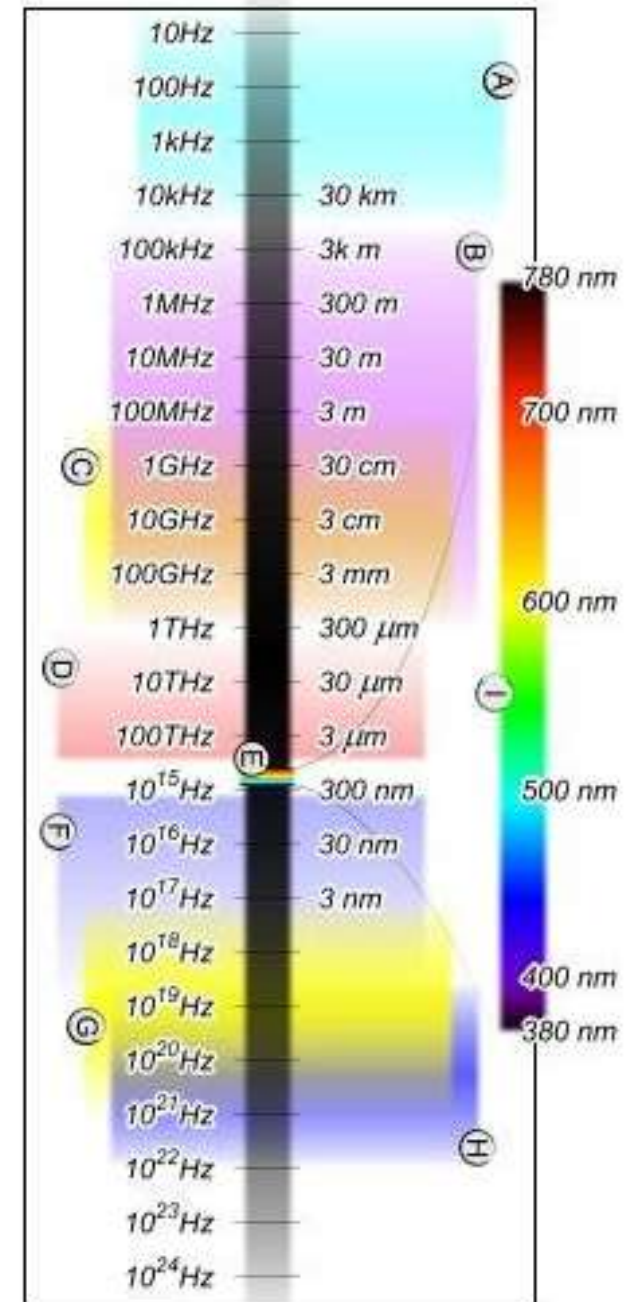
- A - fale radiowe bardzo długie
- B - fale radiowe
- C - mikrofae
- D - podczerwień
- E - światło widzialne
- F - ultrafiolet
- G - promieniowanie rentgenowskie (promieniowanie X)
- H - promieniowanie gamma
- I - widmo światła widzialnego

$$L = V/f$$

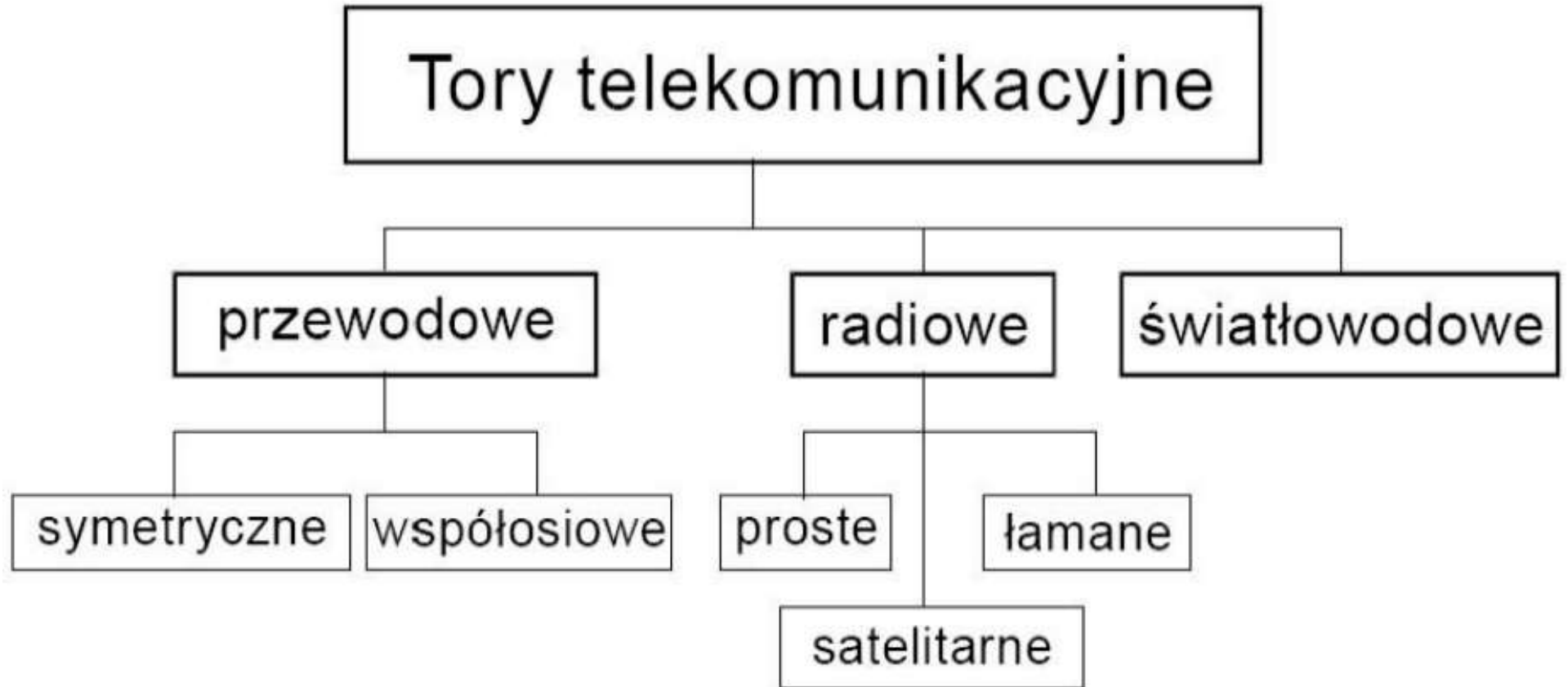
L – długość fali, V - predkość rozchodzenia, f - częstotliwość

Fale elektromagnetyczne $\text{długość[metry]} = 300/\text{częstotliwość [MHz]}$

Fale akustyczne $\text{długość[metry]} = 343/\text{częstotliwość [Hz]}$

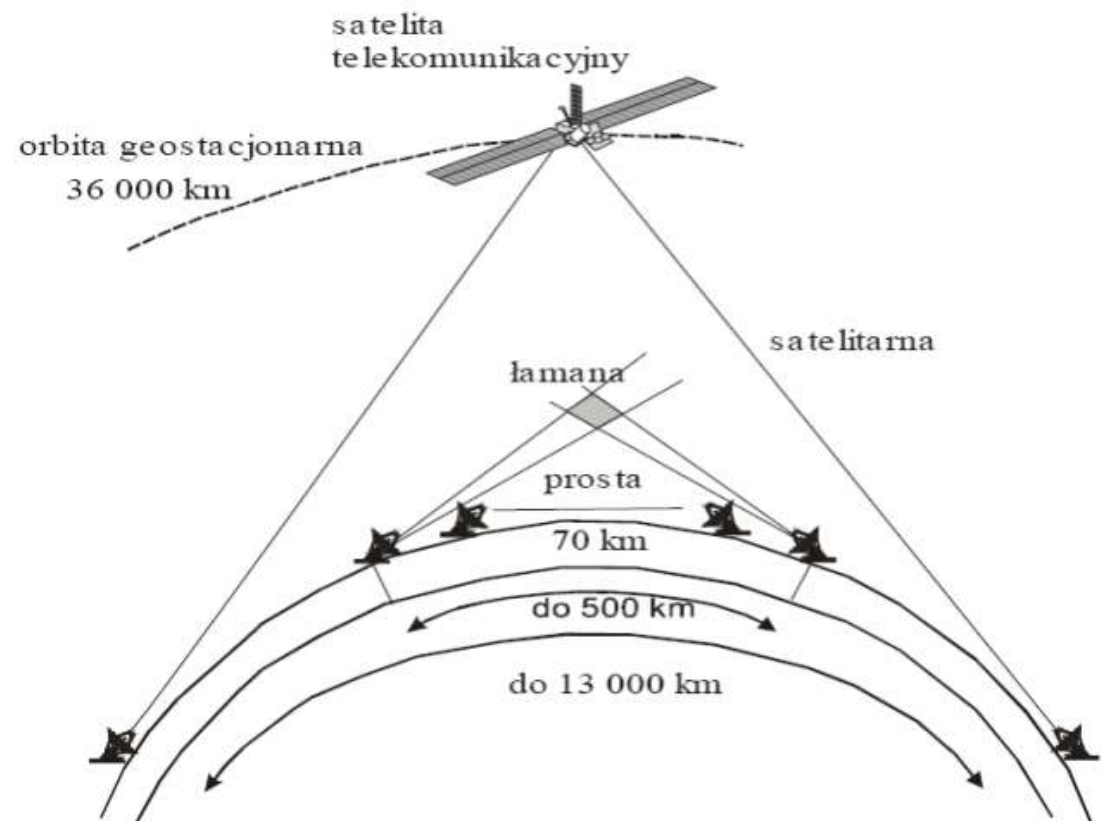


Tory telekomunikacyjne



Tory radiowe

- Tor satelitarny – w transmisji pomiędzy dwoma punktami pośredniczy satelita telekomunikacyjny znajdujący się na orbicie geostacjonarnej.
- Tor prosty – transmisja odbywa się bezpośrednio pomiędzy dwoma punktami. Odległość do 70km.
- Tor łamany – transmisja pomiędzy dwoma punktami jest możliwa, dzięki odbiciu się fali radiowej od wewnętrznych warstw stratosfery. Odległość między punktami do 500km. (dzięki temu zjawisku można słuchać PR 1 Polskiego Radia nad morzem śródziemnym).



Pasma częstotliwości wybranych systemów radiowych i łączności amatorskiej

System radiowy	Pasma częstotliwości
Sieci komórkowe	450 ÷ 470 MHz, 820 ÷ 960 MHz, 1700 ÷ 2200 MHz
Szerokopasmowe RSDA	25 ÷ 50 GHz
Horyzontowe linie radiowe	2 ÷ 58 GHz
Pozahoryzontowe linie radiowe	0,25 ÷ 6 GHz
Systemy satelitarne	2 ÷ 50 GHz
Łączność amatorska	1,8 MHz ÷ 250 GHz

Modulacja

W celu przesłania informacji z jednego punktu do drugiego konieczne jest przetworzenie go do postaci zdatnej do transmisji. Proces ten nazywamy **modulacją**. Proces odwrotny zwany jest **demodulacją**.

Modulacja jest procesem nakładania sygnału zawierającego informację (głos, dane cyfrowe) na sygnał nośny, czyli taki, który nadaje się do transmisji.

Modulacja ma także na celu uodpornienie przesyłanego sygnału na zakłócenia.

Modulacja może umożliwić także jednoczesne przesyłanie kilku niezależnych sygnałów informacyjnych jednym torem transmisyjnym (np. neostrada).

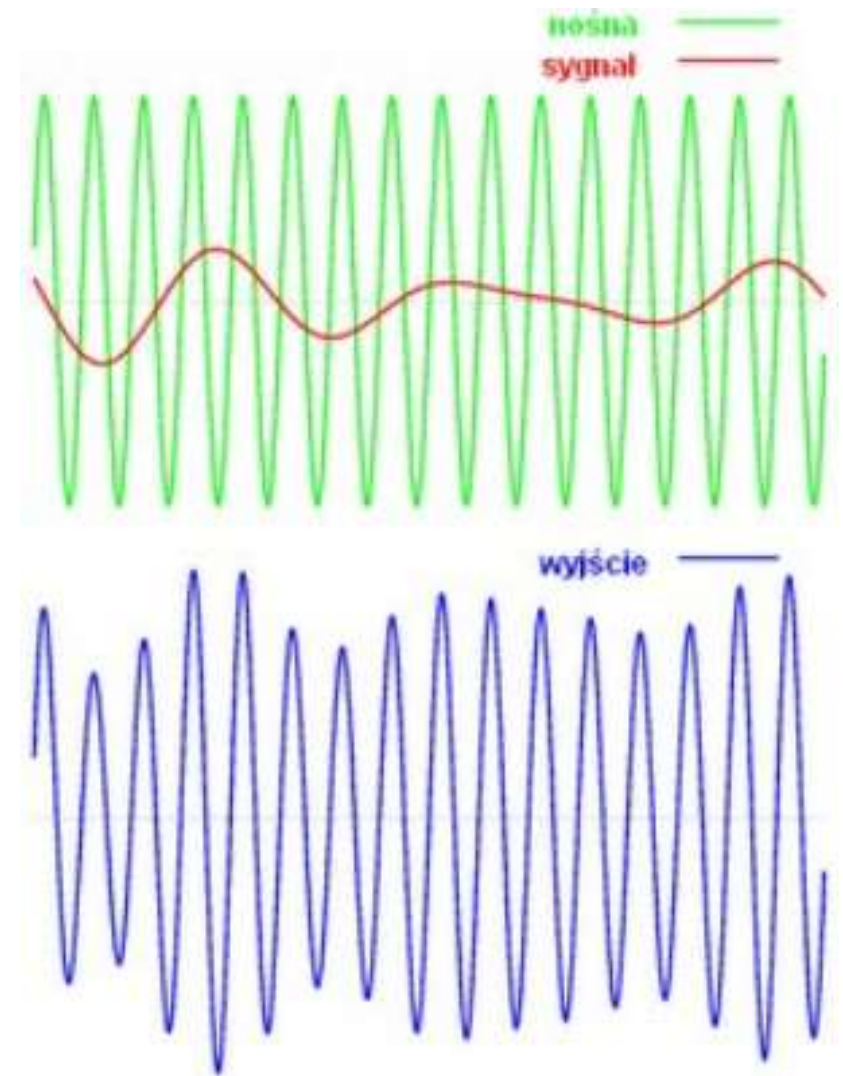
Wypromieniowanie fal radiowych jest możliwe dla częstotliwości powyżej 15 kHz (wartość minimalna zależy także od wielkości i rodzaju anteny).

Modulacja amplitudy (AM)

Jeden z najstarszych rodzajów emisji wykorzystywanych w łączności – przedstawiony przez Reginalda Fessendena w 1906 roku.

Metoda opracowana i zastosowana pierwotnie dla telefonu elektrycznego w celu dodania głosu do niskonapięciowej fali elektrycznej płynącej w przewodzie.

Polega na zakodowaniu sygnału informacyjnego w chwilowych zmianach amplitudy sygnału nośnego (fali nośnej).

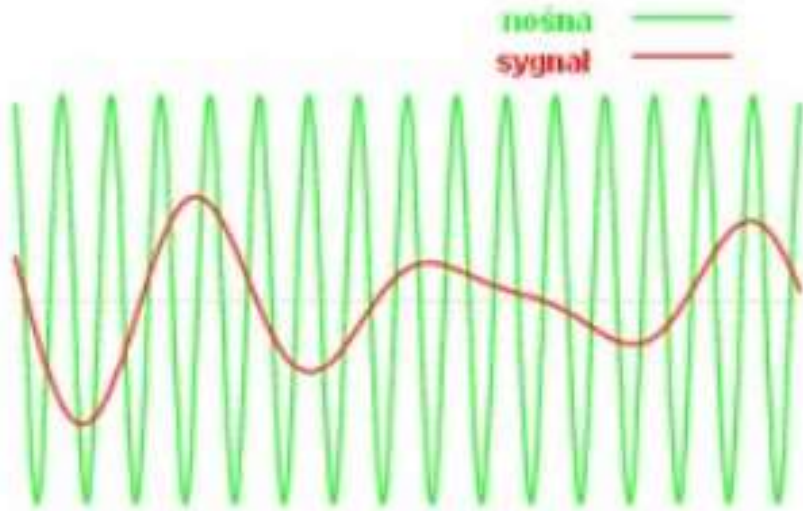


Moc wyjściowa zależy od amplitudy nadawanego sygnału.

Metoda stosowana z powodzeniem dzisiaj w transmisji radiowej (fale długie, średnie i krótkie) oraz w telefonii przewodowej.

Współczynnik głębokości modulacji – służy do eliminacji przesterowania sygnału wyjściowego zbyt dużym sygnałem wejściowym. Przyjmuje wartości ułamkowe z przedziału 0..1 (lub też podawany jest w procentach).

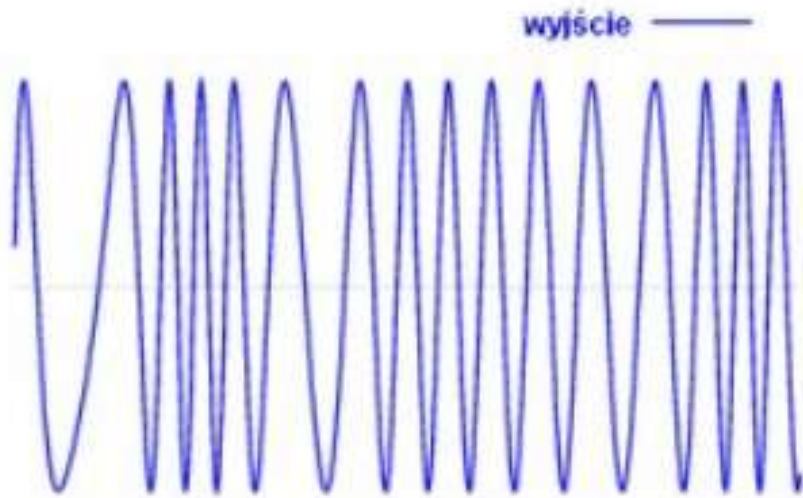
Modulacja częstotliwości (FM)



Metoda zaprezentowana przez Edwina Armstronga w 1935 roku jako sposób na redukcję wpływu zakłóceń na sygnał radiowy.

Metoda polega na kodowaniu informacji w fali nośnej przez zmiany jej chwilowej częstotliwości, w zależności od sygnału wejściowego.

Moc sygnału jest niezależna od przebiegu sygnału wejściowego (dzięki czemu cała transmisja może być realizowana z pełną mocą nadajnika).



Sygnał po odebraniu i wzmacnieniu może być ograniczony do takiej samej amplitudy (filtry) co umożliwi odfiltrowanie zakłóceń.

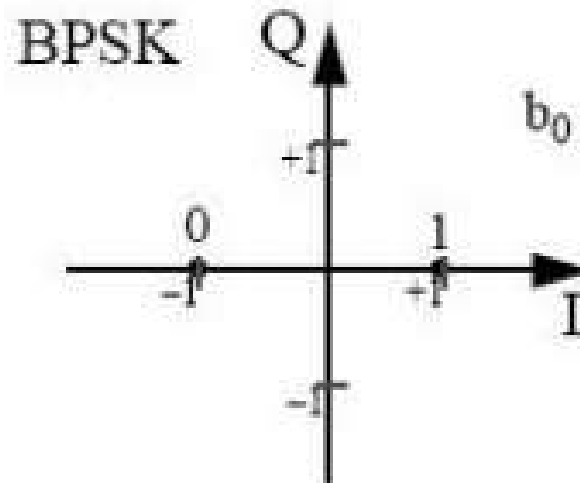
Stosowania do przesyłania analogowego sygnału radiowego w paśmie ultrakrótkim (UKF), fonii w telewizji naziemnej, czy informacji o kolorze (chrominancji) w systemie TV SECAM.

Dewiancja - wartość o jaką częstotliwość fali nośnej zmienia się od częstotliwości początkowej.

Modulacja BPSK

BPSK (Binary Phase Shift Keying) - najprostsza forma modulacji PSK w której faza może przyjmować jedną z dwóch wartości przesuniętych względem siebie o 180° reprezentując logiczne "0" lub "1".

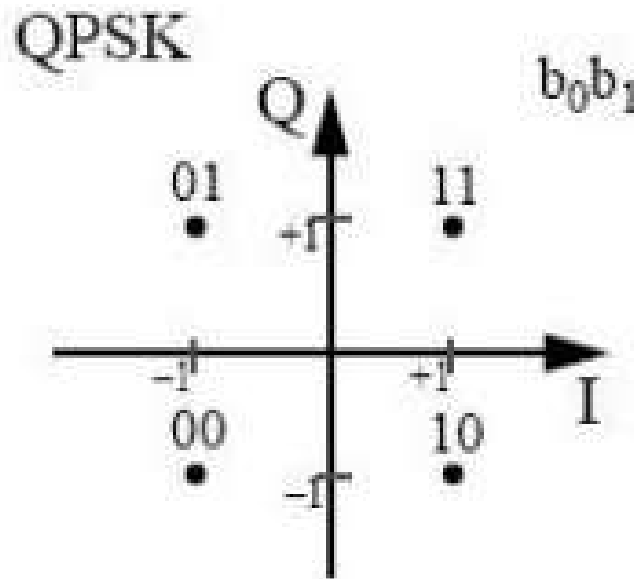
W danej chwili możemy zakodować jeden bit.



Modulacja QPSK

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) - forma modulacji PSK w której faza może przyjmować jedną z czterech wartości przesuniętych względem siebie o 90° reprezentując cztery wartości logiczne "00", "01", "10" lub "11".

W danej chwili możemy zatem zakodować dwa bity.



Modulacja QAM

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) - kombinacja modulacji amplitudy i fazy.

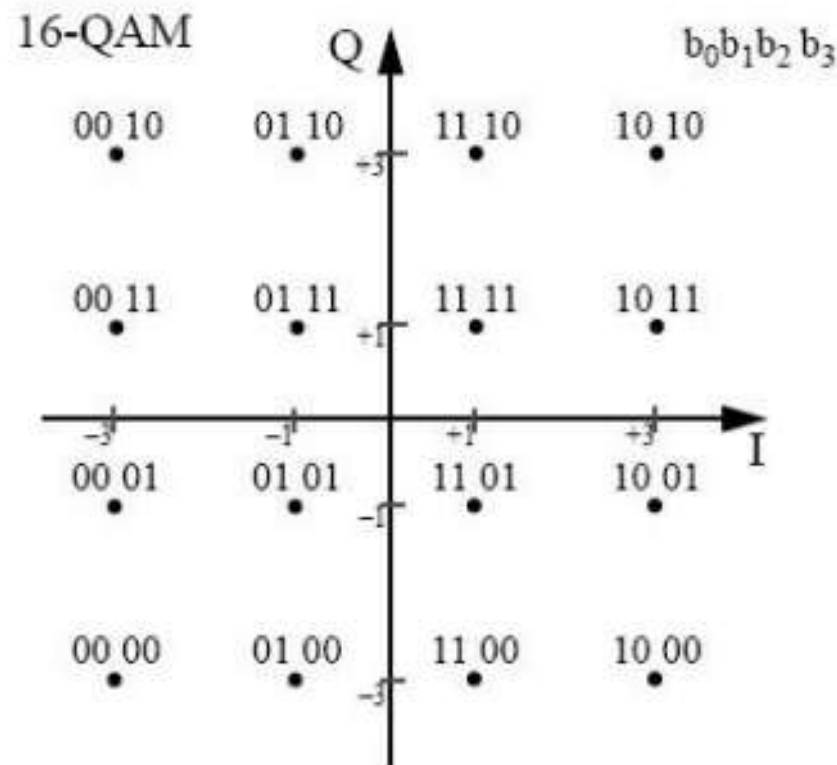
Dane formowane są w dwójki, trójki, czwórki itd., które odpowiadają zarówno amplitudzie jak i fazie.

Nośna powstaje w wyniku sumowania dwóch przebiegów: cosinusoidalnego i sinusoidalnego (powstałego z przesunięcia cosinusoidy w fazie o $\pi/2$).

Modulacja 16-QAM

Ciąg wejściowy danych dzielony jest po dwa bity na jeden z dwóch kanałów. W każdym kanale możemy przyjąć jedną z 4 wartości: "00", "01", "10" lub "11".

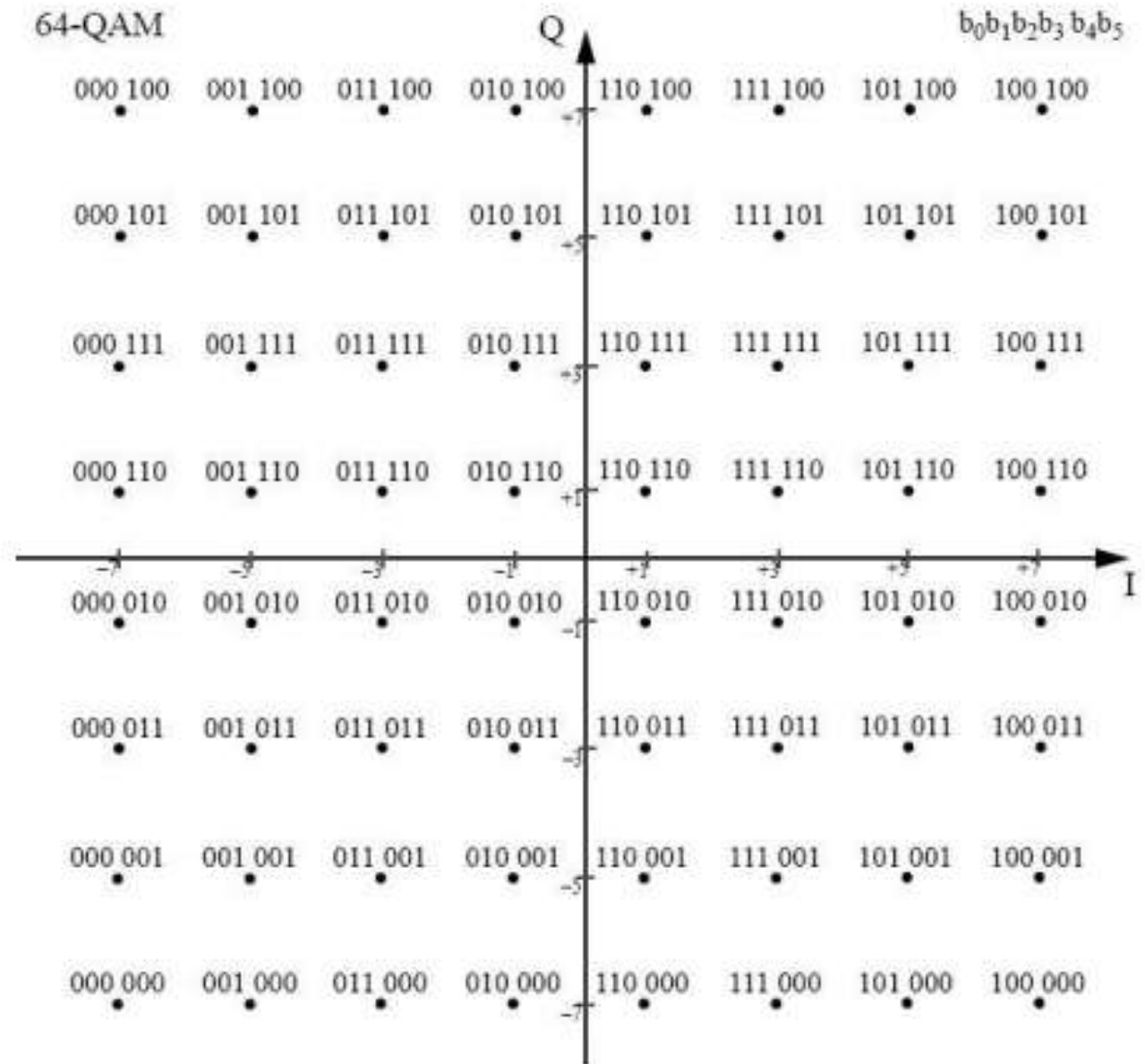
W danej chwili możemy zakodować po 2 bity na kanał, czyli łącznie 4 bity.



Modulacja 64-QAM

Ciąg wejściowy dzielony
jest na dwa kanały po 3
bity.

Umożliwia zakodowanie
6 bitów w danej chwili.



Rozpraszanie widma

Istotą metod transmisji z rozpraszaniem widma jest nadawanie sygnału w szerokim paśmie częstotliwości, przy poziomie sygnału znacznie poniżej poziomu szumów.

Połączenie tych dwóch właściwości sygnału pozwala osiągnąć założoną przepustowość kanału oraz jednocześnie powoduje, że sygnał taki trudno jest wykryć. Stąd pierwotne zastosowanie systemów z rozpraszaniem widma obejmowało przede wszystkim łączność wojskową. Z czasem jednak systemy szerokopasmowe zostały wykorzystane w telekomunikacji użytkowej, np. w telefonii komórkowej UMTS, systemie GPS i w standardzie Bluetooth.

Istnieje kilka rodzajów metod transmisji z rozpraszaniem widma.

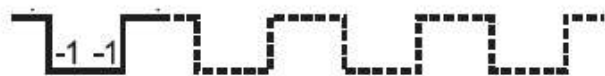
W praktyce najbardziej rozpowszechniona to DSSS i FHSS.

Technika DSSS

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) - bezpośrednie modulowanie nośnej sekwencją kodową.

Przy wysyłaniu, strumień danych jest mnożony przez odpowiedni ciąg kodowy o większej szybkości bitowej. W ten sposób wyjściowy strumień informacji zajmuje znacznie szersze pasmo.

Fizyczna transmisja może odbywać się teoretycznie z użyciem dowolnej modulacji cyfrowej jednak najczęściej stosowana jest BPSK.



a) kod rozpraszający A



b) kod rozpraszający B



c) dane 1 (4 bity)



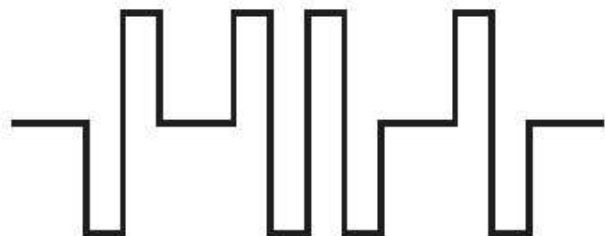
d) wynik mnożenia kodu A i danych 1



e) dane 2 (4 bity)



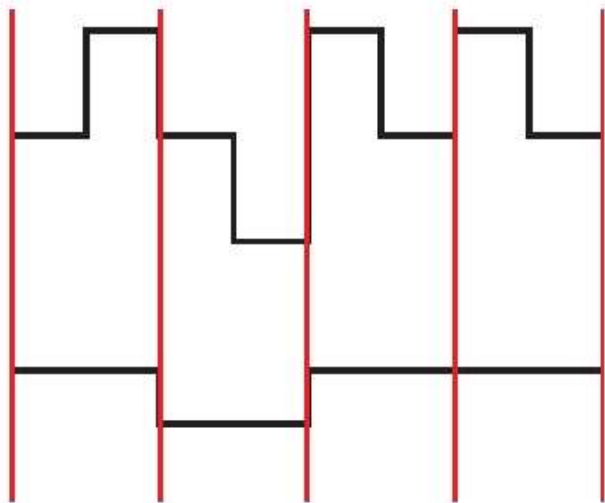
f) wynik mnożenia kodu B i danych 2



g) suma danych d) i f)
transmitowana do odbiornika



h) kod rozpraszający A
generowany w odbiorniku



i) wynik mnożenia sygnału g)
i kodu rozpraszającego A

sygnał i) zostaje zsumowany
w obrębie każdego bitu
(podział zaznaczony czerwoną
linią), wynik sumowania zostaje
znormalizowany, ostatecznie
udaje się odzyskać dane 1
w oryginalnej postaci

Kodowanie i dekodowanie sygnału w DSSS

Systemy FHSS

Szerokopasmowe systemy FHSS zyskały popularność przede wszystkim w zastosowaniach militarnych. Jest to spowodowane odpornością sygnałów FHSS na zaburzenia (zwłaszcza celowe zagłuszanie) oraz na interferencje z innymi sygnałami. Idea FHSS polega na wielokrotnych zmianach częstotliwości nośnej określanych przez generator pseudolosowy.

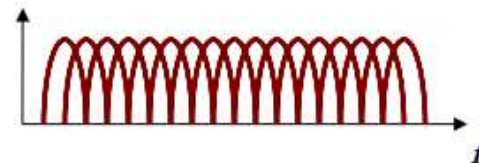
Technika OFDM

Idea tej metody modulacji powstała w latach 60., jednak wówczas nie potrafiono w pełni wykorzystać dużej prędkości transmisji oferowanej przez OFDM. Nie dysponowano też odpowiednimi narzędziami obliczeniowymi, co obecnie uległo zmianie wraz z rozwinięciem technologii procesorów sygnałowych.

standardowa transmisja
szerokopasmowa



OFDM



Technika OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) – metoda polegająca na kodowaniu pojedynczego strumienia danych w wielu podnośnych.

Modulacja OFDM jest modulacją wielotonową. W praktyce oznacza to równoległe przesyłanie informacji, co jest realizowane przez wykorzystanie wielu nośnych. Transmitują one strumień danych podzielony na fragmenty. Poszczególne nośne są modulowane przy użyciu dowolnych modulacji, np. PSK, BPSK, QAM lub QPSK.

Technika OFDM

ZALETY

Transmisja wykorzystująca wiele częstotliwości nośnych ma szereg zalet. Zaniki sygnału oraz interferencje występujące w danym paśmie częstotliwości obejmują zazwyczaj niewielką liczbę nośnych wykorzystywanych w danym kanale. Pozostałe sygnały będące poza zakresem niepożądanych zjawisk mogą być poprawnie odebrane. Dzięki temu możliwa jest implementacja kodów korekcyjnych.

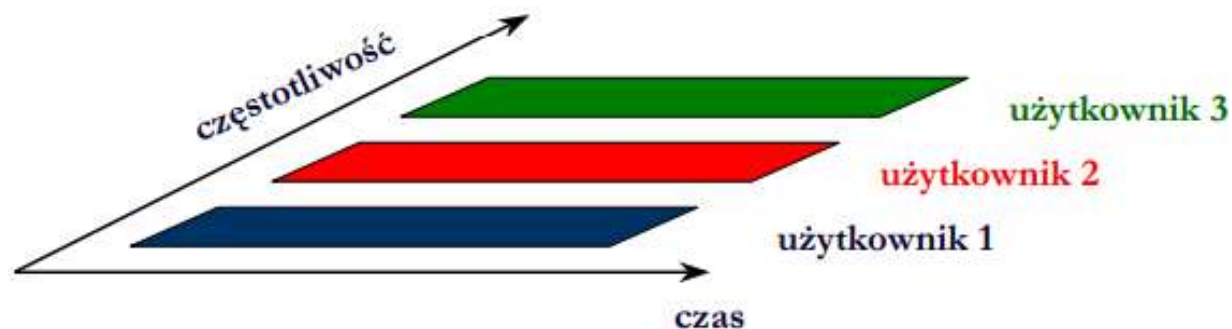
TECHNIKI WIELODOSTĘPU

- TDMA (Time Division Multiplex Access),
- FDMA (Frequency DMA),
- CDMA (Code DMA).

Wielodostęp w dziedzinie częstotliwości

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

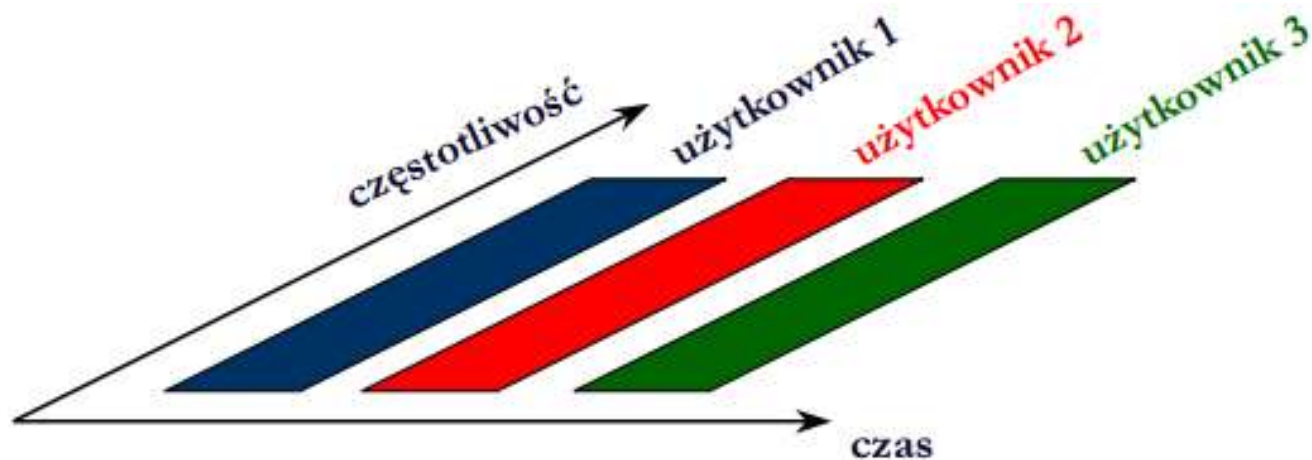
- najprostsza technika wielodostępu, transmisja prowadzona jest cały czas w tym samym paśmie częstotliwości,
- trudności związane ze stabilnością częstotliwości nośnej,
- konieczność separacji użytkowników w dziedzinie częstotliwości:
 - filtry o stromych zboczach (kosztowne),
 - okresy ochronne (spadek współczynnika wykorzystania pasma),
- zastosowanie raczej do systemów szerokopasmowych



Wielodostęp w dziedzinie czasu

TDMA (Time Division Multiple Access)

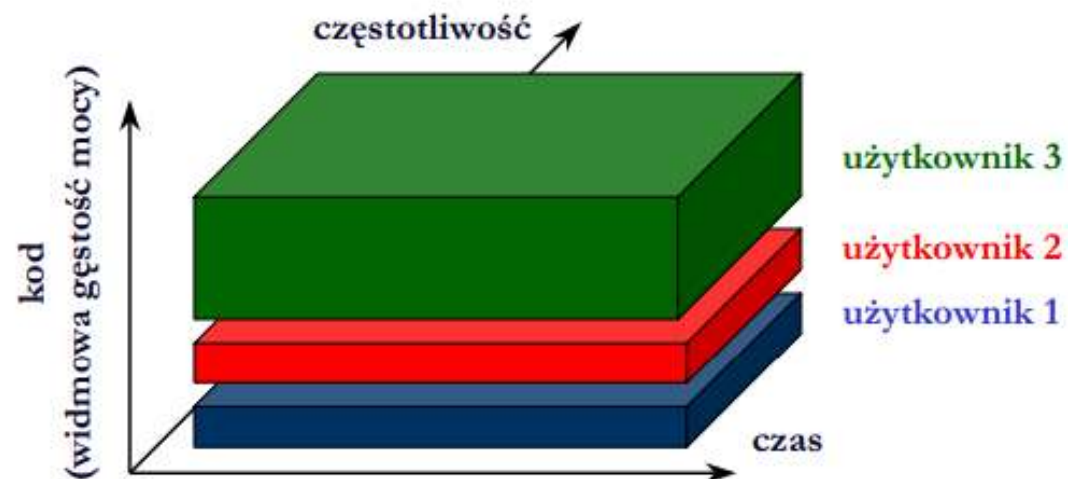
- każdy użytkownik ma do dyspozycji szeroki kanał częstotliwościowy, ale tylko w ciągu krótkiej szczeliny czasowej
- okresy ochronne oddzielające poszczególnych użytkowników
- trudności związane z synchronizacją użytkowników znajdujących się w różnych odległościach od stacji bazowej



Wielodostęp kodowy CDMA

(Code Division Multiple Access)

Ciągi bitowe różnych użytkowników są przemnażane (suma modulo 2) przez odmienne ciągi kodowe.

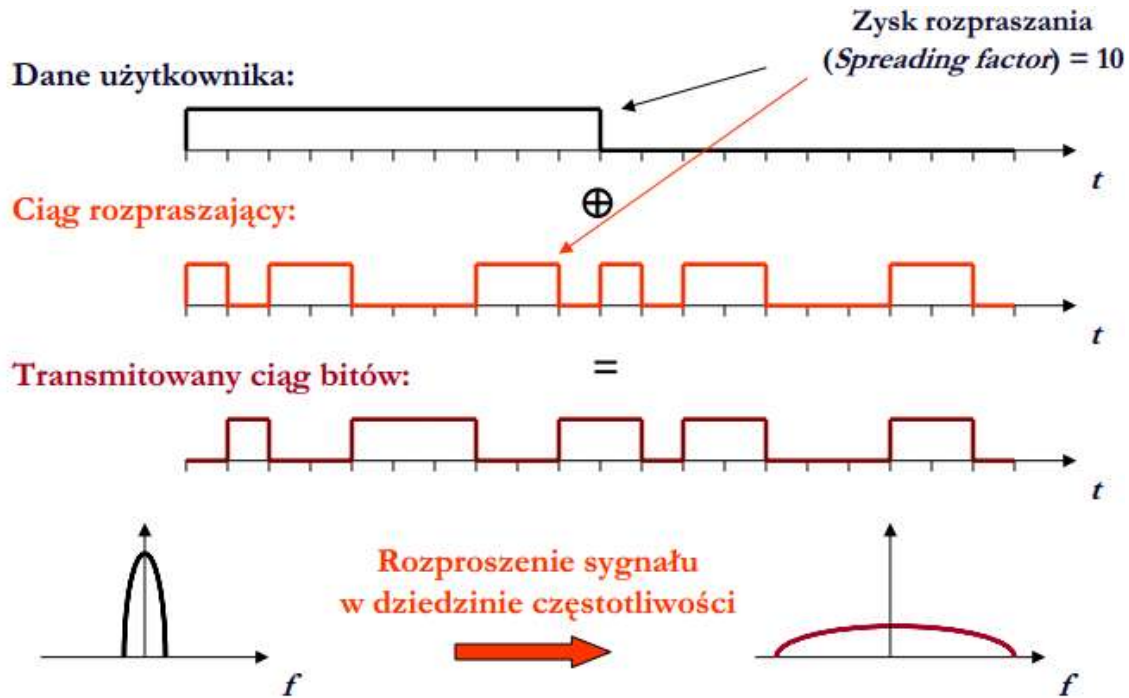


Wielodostęp kodowy CDMA

- ukrycie transmisji
 - widmowa gęstość mocy sygnału może być mniejsza od widmowej gęstości mocy szumu
- zabezpieczenie przed niepożądanym odbiorem sygnału
 - konieczność znajomości ciągu rozpraszającego
- konieczność dokładnej synchronizacji nadajnik-odbiornik

Wielodostęp kodowy CDMA

Rozpraszanie sygnału



Odbiór sygnału

Odebrany ciąg symboli:

Właściwy ciąg rozpraszający:

Dane użytkownika:

The diagram illustrates the despreading process in CDMA. It shows three time-domain waveforms: 'Odebrany ciąg symboli' (the received spread signal), 'Właściwy ciąg rozpraszający' (the known spreading sequence), and 'Dane użytkownika' (the result of XORing the received signal and the spreading sequence). The XOR operation is indicated by a circled plus sign between the first two waveforms, and an equals sign before the third waveform. The resulting waveform is identical to the original data signal.

Wielodostęp kodowy CDMA

Odbiór z błędnym kodem rozpraszającym

Odebrany ciąg symboli:



$\oplus$

Błędny ciąg rozpraszający:



=

Odebrane dane:



PRZEGLĄD SYSTEMÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH

SYSTEMY O STRUKTURZE KOMÓRKOWEJ

Systemy o strukturze komórkowej to systemy komunikacji bezprzewodowej umożliwiające łączność z terminalami ruchomymi.

Działają one w oparciu o stacje bazowe, które utrzymują łączność z terminalami abonenckimi drogą radiową. Podstawową oferowaną usługą jest usługa telefoniczna, dlatego systemy o strukturze komórkowej określa się często mianem telefonii komórkowej.

SYSTEMY O STRUKTURZE KOMÓRKOWEJ - działanie

Obszar działania sieci telefonii komórkowej podzielony jest na komórki. Łączność z terminalami znajdującymi się wewnątrz jednej komórki prowadzi jedna stacja bazowa, wykorzystując w tym celu przydzielone jej kanały częstotliwościowe.

W celu zwiększenia pojemności sieci, czyli liczby obsługiwanych abonentów, te same kanały częstotliwościowe przyznaje się kilku oddalonym od siebie stacjom bazowym. W konsekwencji, w sieci pojawiają się szumy interferencyjne współkanałowe, które są najsilniejszymi zakłóceniami w sieciach telefonii komórkowej.

SYSTEMY O STRUKTURZE KOMÓRKOWEJ - działanie

Systemy o strukturze komórkowej opierają się na technikach wielodostępu TDMA (Time Division Multiplex Access), FDMA (Frequency DMA) i CDMA (Code DMA).

Wykorzystują częstotliwości $450 \div 470$ MHz, $820 \div 960$ MHz i $1710 \div 2200$ MHz.

Szczegółowe przyporządkowanie częstotliwości i technik wielodostępu określonym systemom telefonii komórkowej przedstawiono w tabeli.

Nazwa systemu	Metoda wielodostępu	Zakres częstotliwości
AMPS	FDMA	$824 \div 849$ MHz, $869 \div 894$ MHz
TACS	FDMA	$890 \div 905$ MHz, $935 \div 950$ MHz
NMT	FDMA	$453 \div 457,5$ MHz, $463 \div 467,5$ MHz
GSM	TDMA/FDMA	$890 \div 915$ MHz, $935 \div 960$ MHz
IS-54	TDMA/FDMA	$824 \div 849$ MHz, $869 \div 894$ MHz
IS-95	CDMA/FDMA	$824 \div 849$ MHz, $869 \div 894$ MHz
DCS	TDMA/FDMA	$1710 \div 1785$ MHz, $1805 \div 1880$ MHz
UMTS	TDMA/CDMA	$1885 \div 2025$ MHz, $2110 \div 2200$ MHz

SYSTEMY O STRUKTURZE KOMÓRKOWEJ - działanie

Promienie komórek w najpopularniejszym systemie telefonii komórkowej – GSM wahają się od 500 metrów do 35 kilometrów. Najmniejsze komórki są tworzone w miastach, gdzie jest największa gęstość abonentów na jednostkę powierzchni. Komórki o dużych promieniach powstają na terenach niezurbanizowanych. Promień komórki określa maksymalną odległość pomiędzy stacją bazową a terminalem abonenta.

SYSTEMY O STRUKTURZE KOMÓRKOWEJ - działanie

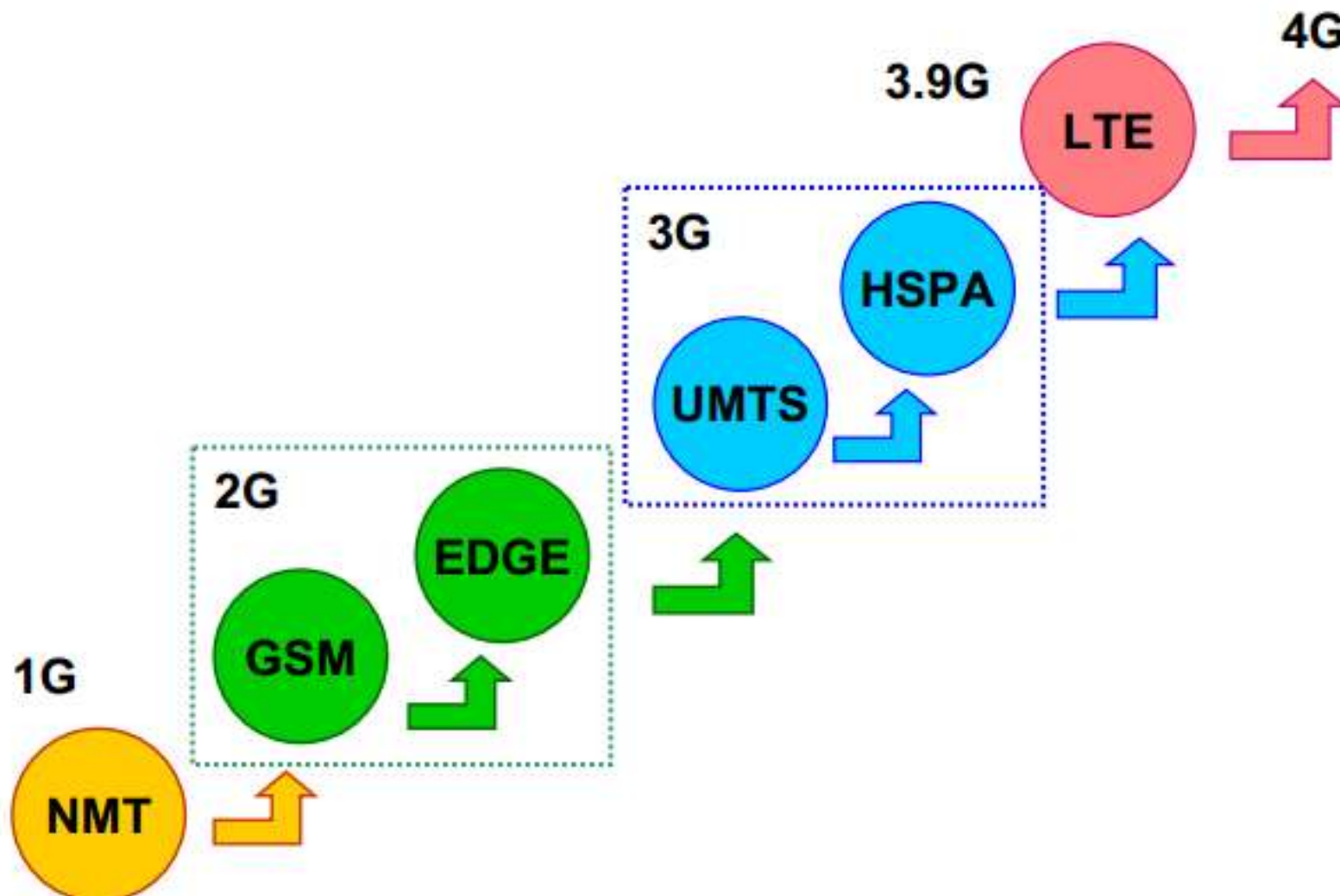
Moc fali radiowej rozchodzącej się w przestrzeni swobodnej jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości. Wykładnik potęgi odległości oznaczany jest zazwyczaj grecką literą γ . Pomiarzy prowadzone w terenach pokrytych sieciami telefonii komórkowej wskazują, że moc fali radiowej może szybciej maleć z odległością – niekiedy nawet z jej szóstą potęgą ($\gamma = 1,6 \div 6$). Zależność współczynnika γ od rodzaju terenu, w którym rozchodzi się fala radiowa, zaprezentowano w tabeli.

Rodzaj terenu	Wartość γ
Wolna przestrzeń	2
Obszar miejski	$2,7 \div 3,5$
Obszar miejski, efekt cienia radiowego	$3 \div 5$
Wnętrza budynków, bezpośrednia widoczność anten	$1,6 \div 1,8$
Wnętrza budynków, przeszkody na drodze sygnału radiowego	$4 \div 6$

SYSTEMY O STRUKTURZE KOMÓRKOWEJ - działanie

W systemach o strukturze komórkowej, propagacja sygnału radiowego następuje w bezpośrednio przylegającej do ziemi części atmosfery. W większości przypadków nie ma zapewnionej widoczności optycznej anten stacji bazowej i terminala abonenta. Sygnał radiowy przebywa drogę od nadajnika do odbiornika odbijając się od przeszkód terenowych i ulegając rozproszeniu lub dyfrakcji. Często dociera do anteny odbiorczej kilkoma różnymi drogami – jest to zjawisko wielodrogowości. Wielodrogowość może spowodować wzrost mocy sygnału w odbiorniku, jednak najczęściej jej skutkiem są znaczące spadki mocy i zaniki sygnału.

Ewolucja systemów telefonii komórkowej



O GSM, UMTS itd., powinniśmy porozmawiać później...

...ale możemy to zrobić już teraz :D

Charakterystyka systemu GSM

GSM – Global System for Mobile Communications (globalny system komunikacji ruchomej).

- Stacja ruchoma (MS – Mobile Station) nadaje na jednej częstotliwości (niższej), a odbiera na drugiej (wyższej).

- Każdy kanał częstotliwościowy jest dodatkowo dzielony przez multipleksowanie z podziałem czasu (TDM) na przedziały czasowe możliwe do wykorzystania przez 8 stacji ruchomych.

- Pasma systemu GSM jest wykorzystywane przez wielu użytkowników zarówno przez przydział określonej częstotliwości nośnej lub ich sekwencji, jeśli system przeskoków częstotliwości (FH – Frequency Hopping) jest włączony, jak i przez przydział określonej szczeliny czasowej.

System przeskoków częstotliwości – FH

Przeskakiwanie częstotliwości jest techniką poprawiającą stosunek sygnału do szumu w łączu radiowym.

Stacja bazowa nakazuje stacji ruchomej aktywację FH, gdy ta zbliża się do krawędzi komórki lub w obszar dużych zakłóceń.

Gdy FH jest aktywowany w stacji ruchomej, stacja bazowa przydziela stacji ruchomej zestaw kanałów, zamiast jednego kanału radiowego.

Algorytm przeskoków częstotliwości jest przypisany do telefonu komórkowego.

W GSM / GPRS / EGPRS liczba przeskoków częstotliwości jest zależna od liczby częstotliwości oferowanych przez określoną komórkę.

Korzyści, które oferuje FH to lepsza jakość dźwięku i zapobieganie przerwań połączeń w sieciach GSM oraz lepsza przepustowość danych w GPRS i EGPRS.

Charakterystyka systemu GSM

GSM jest systemem działającym wg zasady wielodostępu z podziałem częstotliwościowym i czasowym FDMA-TDMA.

Odstęp między sąsiednimi kanałami simpleksowymi (jednego kierunku) wynosi 200 kHz.

Odstęp między kanałami dwuplexowymi (jednego połączenia) wynosi 45 / 95 / 80 MHz.

Standard GSM jest otwarty, tzn. zakłada rozwój systemu w kolejnych fazach.

Standard GSM został zaakceptowany w Europie i w wielu regionach świata, co umożliwiło roaming międzynarodowy i w konsekwencji gwałtowny rozwój systemu.

Roaming międzynarodowy i handover

Roaming międzynarodowy (International roaming) – mechanizm włączania się do sieci innego operatora używany w sytuacji, gdy stacja ruchoma znajduje się w innym kraju, niż ten w którym istnieje sieć komórkowa jego operatora.

Handover – przełączenie połączenia radiowego stacji ruchomej z jednej stacji bazowej do innej w czasie, gdy połączenie jest aktywne.

Podstawowe parametry interfejsu radiowego GSM

Odmiana systemu GSM	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Zakres częstotliwości MS → BS [MHz]	890 (880) ÷ 915	1710 ÷ 1785	1850 ÷ 1910
Odstęp dupleksowy [MHz]	45	95	80
Częstotliwości BS → MS [MHz]	935 (925) ÷ 960	1805 ÷ 1880	1930 ÷ 1990
Wielodostęp (liczba szczelin w ramce)	TDMA (8) i FDMA	TDMA (8) i FDMA	TDMA (8) i FDMA
Czas trwania jednej szczeliny czasowej	577 μs	577 μs	577 μs
Czas trwania jednej ramki	4,615 ms	4,615 ms	4,615 ms
Typ modulacji	0.3GMSK	0.3GMSK	0.3GMSK
Odstęp międzykanałowy (simpleksowy) [kHz]	200	200	200
Liczba kanałów radiowych	124 (174)	374	299
Przepływność kanału radiowego	270,8 kbit/s	270,8 kbit/s	270,8 kbit/s

Nadajniki stacji ruchomych (MS) systemu GSM

System GSM 900

- moc nadawania: regulowana w zakresie od 20 mW do 2 W (moc mierzona w impulsie; moc średnia wynosi $1/8$ lub $1/16$ tej wartości odpowiednio do kanałów pełnych lub połówkowych),
- maksymalna prędkość MS ze względu na efekt Dopplera: 250 km/h.

Systemy GSM 1800 i GSM 1900

- moc nadawania: regulowana w zakresie od 2,5 mW do 1 W (moc mierzona w impulsie; moc średnia wynosi $1/8$ lub $1/16$ tej wartości odpowiednio do kanałów pełnych lub połówkowych),
- maksymalna prędkość MS ze względu na efekt Dopplera: 130 km/h.

Efekt Dopplera

Zjawisko obserwowane dla fal, polegające na powstawaniu różnicy częstotliwości wysyłanej przez źródło fali oraz rejestrowanej przez obserwatora, który porusza się względem źródła fali.



Kanały pełne (FR, EFR) i połówkowe (HR)

W początkowym etapie rozwoju GSM były dostępne dwa tryby cyfrowego kodowania rozmowy: za pomocą kodeków Half Rate(HR) (rozmowa zajmuje pół szczeliny czasowej) i Full Rate (FR) (rozmowa zajmuje całą szczelinę czasową).

Obecnie, nowe modele telefonów mają również zaimplementowane kodeki Enhanced Full Rate (EFR), dzięki którym rozmowa alokowana w całej szczelinie czasowej ma jakość lepszą niż w przypadku kodeków FR, lub Adaptive Multi Rate (AMR), które potrafią zmieniać prędkość transmisji i alokować rozmowę w połowie lub w całej szczelinie czasowej.

Telefony posiadające nowe rodzaje kodeków, potrafią też nadawać/odbierać w standardzie HR i FR, gdyż nie wszystkie sieci wspierają system kodowania AMR (i EFR, który jest zgodny z AMR dla maksymalnej prędkości transmisji).

Kanały pełne (FR, EFR) i połówkowe (HR)

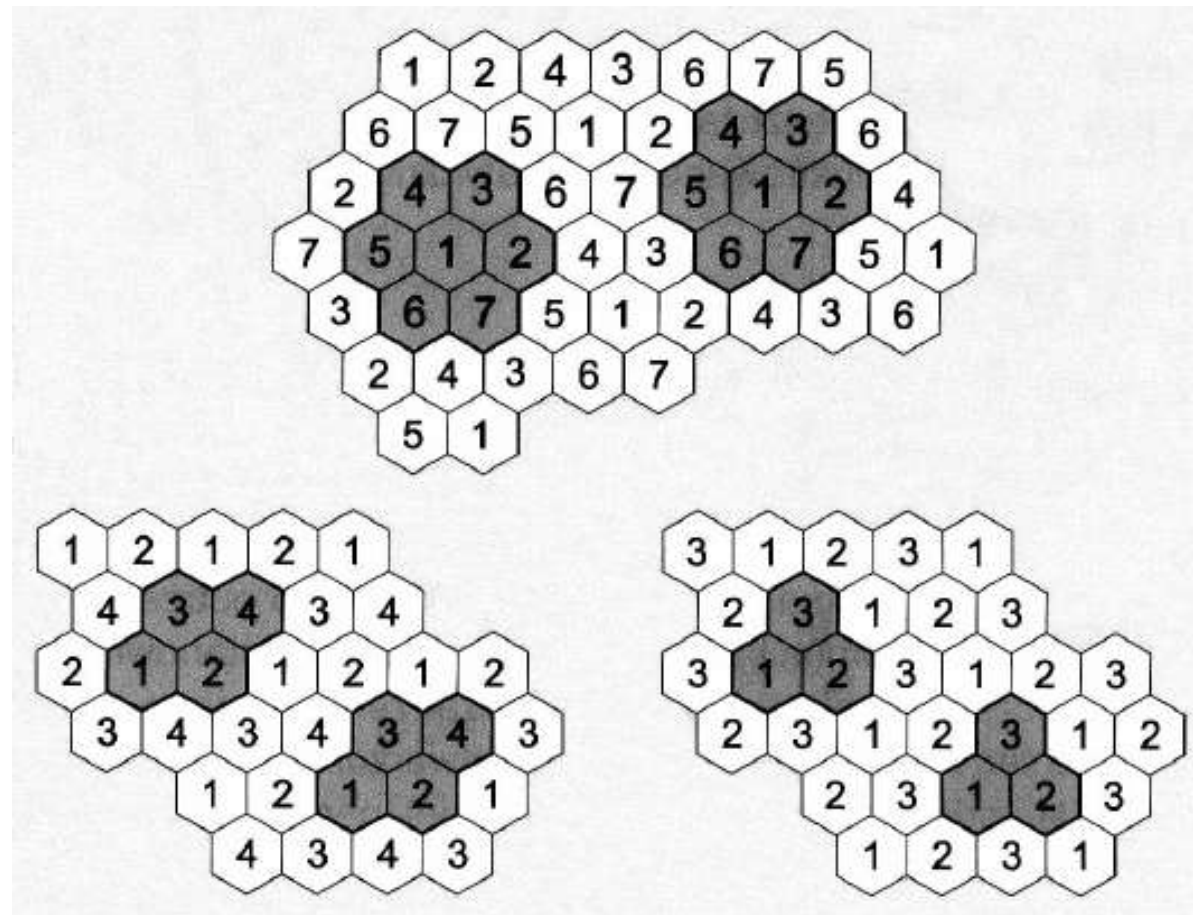
To, który z kodeków telefonu zostanie wybrany, zależy od kontrolera stacji bazowych (BSC), który przyzna całą lub pół szczeliny czasowej na rozmowę w zależności od zajętości sieci w komórce, w której znajduje się stacja ruchoma.

Planowanie kanałów w sieci GSM

Komórki grupuje się w zespoły, a całą pulę kanałów częstotliwościowych systemu rozdziela się pomiędzy stacje bazowe w komórkach tworzących zespół.

Każda stacja bazowa otrzymuje zatem pewną grupę kanałów częstotliwościowych jaką dysponuje system.

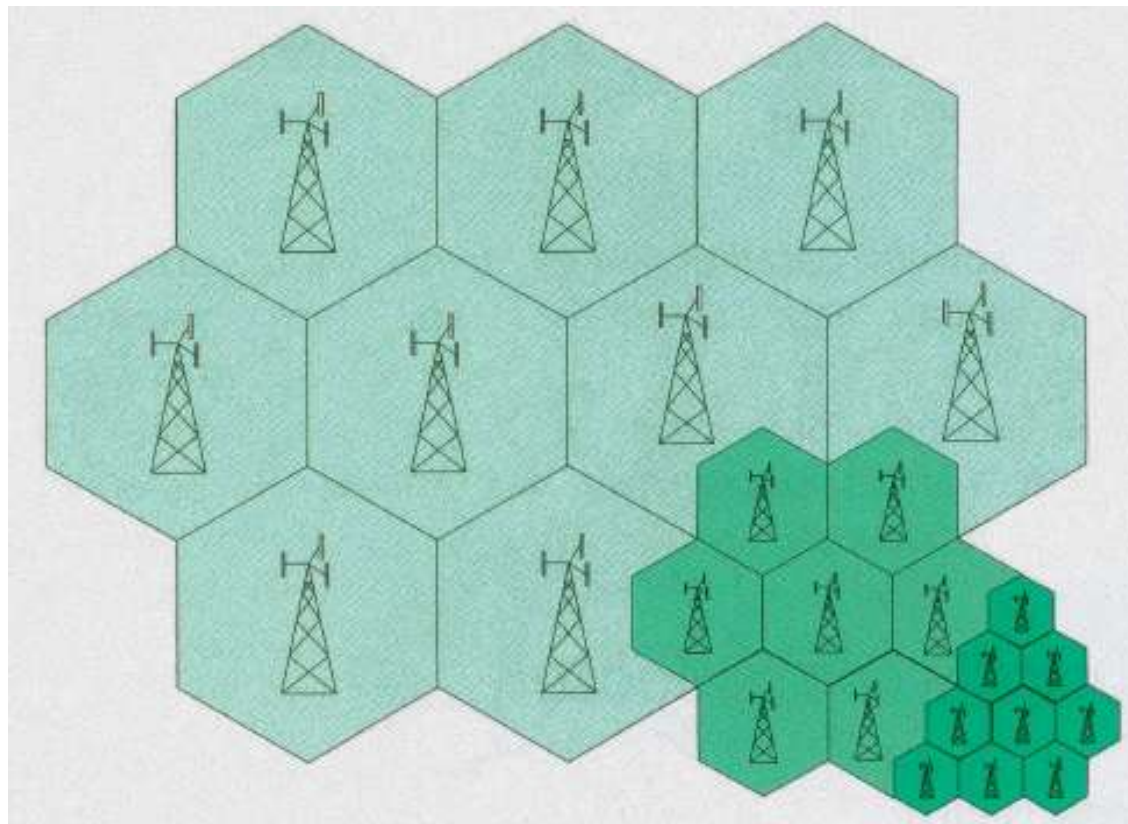
Te same grupy kanałów częstotliwościowych są wykorzystywane we wszystkich odpowiadających sobie komórkach należących do różnych zespołów.



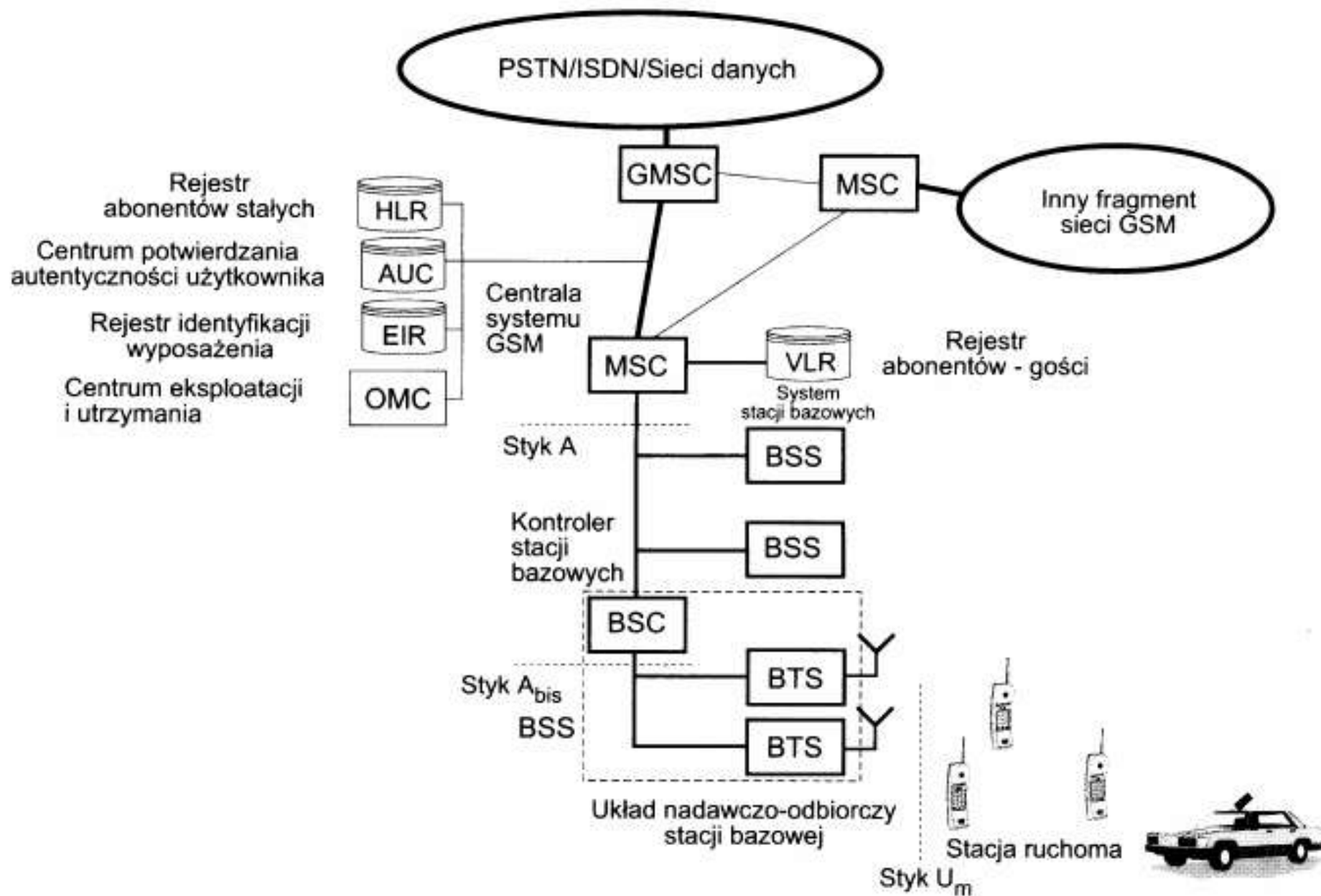
Zagęszczanie komórek w sieci GSM

W sieci GSM istnieje możliwość zagęszczania komórek wraz ze wzrostem Ruchu telekomunikacyjnego generowanego przez abonentów.

W aglomeracjach miejskich, gdzie nagromadzenie użytkowników jest większe, komórki są mniejsze niż w rejonach słabo zurbanizowanych.



Ogólna architektura systemu GSM



MSC (Mobile Switching Centre) – centrale radiokomunikacyjne

- obsługują przydzielone im obszary sieci GSM,
- połączone są między sobą i centralą wejściową GMSC (Gateway Mobile Switching Centre) z publiczną komutowaną siecią telefoniczną PSTN / ISDN oraz sieciami danych,
- każda centrala MSC zarządza co najmniej jednym systemem stacji bazowych BSS,
- głównym zadaniem centrali MSC jest koordynacja zestawiania połączeń pomiędzy abonentami GSM a abonentami sieci stacjonarnej lub danych,

MSC (Mobile Switching Centre) – centrale radiokomunikacyjne

Centrala MSC realizuje funkcje wywołania abonenta, dynamicznego rozdziału zasobów sieci na obszarze przez nią zarządzanym, zarządzania procedurą przenoszenia połączeń, gdy abonent ruchomy zmienia komórki należące do różnych systemów stacji bazowych BSS, szyfracji ciągów binarnych, taryfikacji wszystkich abonentów działających na jej obszarze, realokacji przydzielonych transceiverom BTS częstotliwości kanałowych w przypadku szczególnego obciążenia poszczególnych fragmentów sieci i in.

GMSC (Gateway Mobile Switching Centre) – central wyjściowe

Łączą centrale MSC z publiczną komutowaną siecią telefoniczną PSTN / ISDN oraz innymi sieciami (np. danych).

VLR (Visitor's Location Register) – rejestr stacji gości

- jest to rejestr stacji ruchomych (MS) przebywających aktualnie w obszarze obsługiwanym przez daną centralę radiokomunikacyjną MSC;
- VLR wymienia z rejestrem HLR dane dotyczące aktualnie znajdujących się na danym obszarze abonentów;
- pozwala to na odnalezienie poruszającego się w obszarze danego systemu abonenta poprzez odszukanie w rejestrze HLR informacji o jego aktualnym położeniu i skierowanie połączenia do odpowiedniej centrali MSC mającej do dyspozycji dane o poszukiwanym abonencie w swoim rejestrze VLR;
- rejestr VLR zawiera także dane niezbędne do inicjacji połączenia przez stację ruchomą (MS).

HLR (Home Location Register) – rejestr stacji własnych

- HLR to rejestr stacji ruchomych (MS) na stale zarejestrowanych w systemie zarządzanym przez danego operatora.
- Przechowuje dane kilkuset tysięcy do kilku milionów stacji.
- Przechowuje ich stałe parametry i informacje o ich czasowym położeniu, otrzymane z rejestrów VLR.
- Przechowuje aktualny status stacji, wykaz wykupionych usług dodatkowych, klucze szyfracji danych, potwierdzenia autentyczności stacji, ich czasowe numery wywoławcze w sieci, adresy stowarzyszonego z odpowiednim obszarem wywołania rejestru VLR.
- Zawiera też informacje pozwalające na zestawienie połączenia do stacji tej sieci, jeśli stacje te znajdują się w obszarze zarządzanym przez inną część sieci lub inną sieć.

OMC (Operational and Maintenance Centre) – centrum eksploatacji i utrzymania

- Przechowywanie i edycja danych o abonentach;
- Generowanie statystyk;
- Taryfikacja usług w sieci;
- Lokalizacja uszkodzeń i ewentualne rozwiązywanie problemów;
- Analiza ruchu w sieci i jego obciążenia.

AUC (Authentication Centre) – centrum identyfikacji

Baza danych służąca do sprawdzenia, czy abonent posiadający indywidualną kartę identyfikacyjną SIM (Subscriber Identity Module) jest dopuszczony do realizacji połączenia.

EIR (Equipment Identification Register) – rejestr identyfikacji wyposażenia

Baza danych z informacjami dotyczącymi numerów seryjnych używanych stacji ruchomych; telefony skradzione lub zgubione są na „czarnej liście” i nie mogą być wykorzystywane.

BSS (Basic Station System) – system stacji bazowych

BSC (Basic Station Controller) – kontroler (sterownik) stacji bazowych

BTS (Basic Transceiver Station) – transceiver stacji bazowej

układ nadawczo-odbiorczy stacji bazowej wraz z układem realizującym podstawowe funkcje sterujące;

BTS określana jest też BS (Basic Station);

BTS rozmieszczone są w centrach komórek pokrywających obszar działania systemu.

MS (Mobile Station) – stacje ruchome

BSC (Basic Station Controller) – kontroler (sterownik) stacji bazowych

Pełni nadzór nad kilkunastoma ÷ kilkudziesięcioma stacjami bazowymi (BTS).

Odpowiada za zarządzanie stacjami bazowymi oraz transmisję danych pomiędzy stacjami bazowymi a resztą sieci.

Z poziomu BSC operator zarządza radiową częścią sieci, zmieniając parametry poszczególnych stacji bazowych.

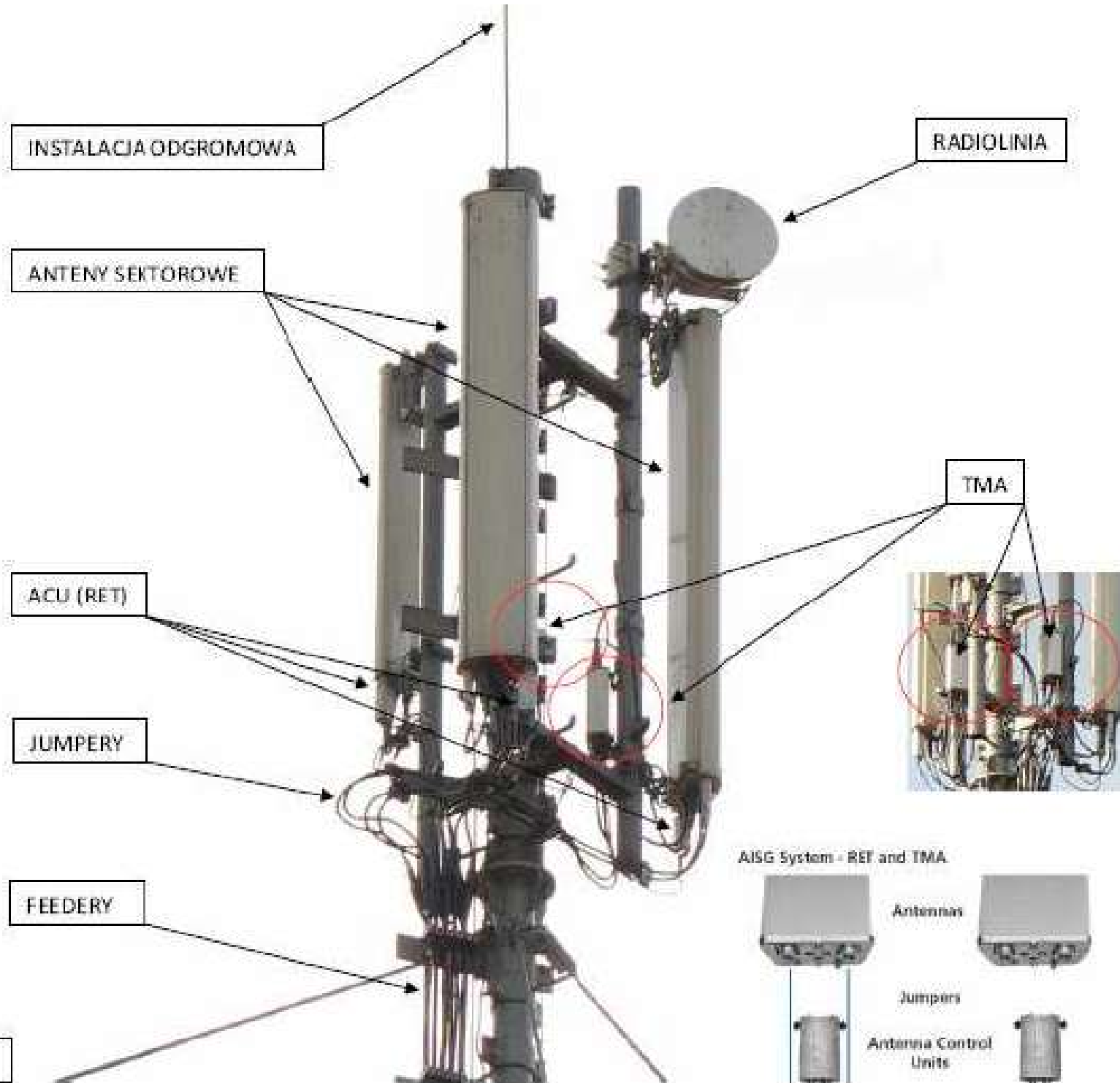
Przydziela telefonom komórkowym wolne szczeliny czasowe na odpowiednich częstotliwościach.

Kontroluje jakość połączeń radiowych. W razie ich pogorszenia, np. gdy abonent oddala się od obsługującej go stacji bazowej, zostanie przydzielona mu inna częstotliwość obsługiwana przez inną stację bazową oraz odpowiednia szczelina czasowa.

Stacje bazowe (BTS, BS)

Stacje bazowe tworzą najczęściej trzy sektory (komórki) każdy sektor obsługuje osobna antena lub zestaw 2 anten, najczęściej o kącie promieniowania ok. 120° , tak, aby uzyskać równomierny zasięg wokół stacji bazowej.

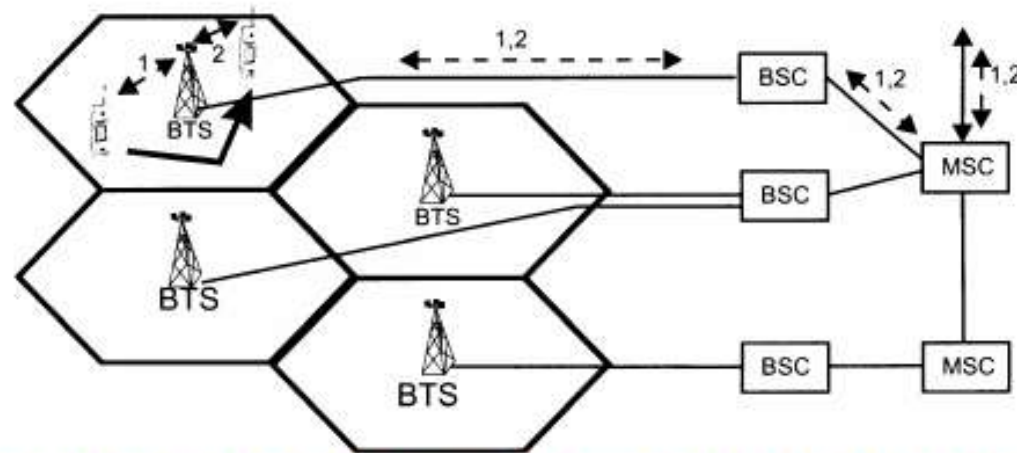
W początkowej fazie rozwoju sieci GSM niektóre stacje bazowe na terenach o małym zaludnieniu wykonywano jako dookólne, bez podziału na sektory, lub umieszczano tylko 2 sektory z silnym ukierunkowaniem na drogę, którą miała pokryć stacja bazowa. Na terenach o dużym zaludnieniu (w miastach) często stawia się dwusystemowe stacje bazowe GSM 900/1800 w sumie z sześcioma sektorami lub dodaje się dodatkowy sektor w tym kierunku, w którym występuje zwiększony ruch w sieci.



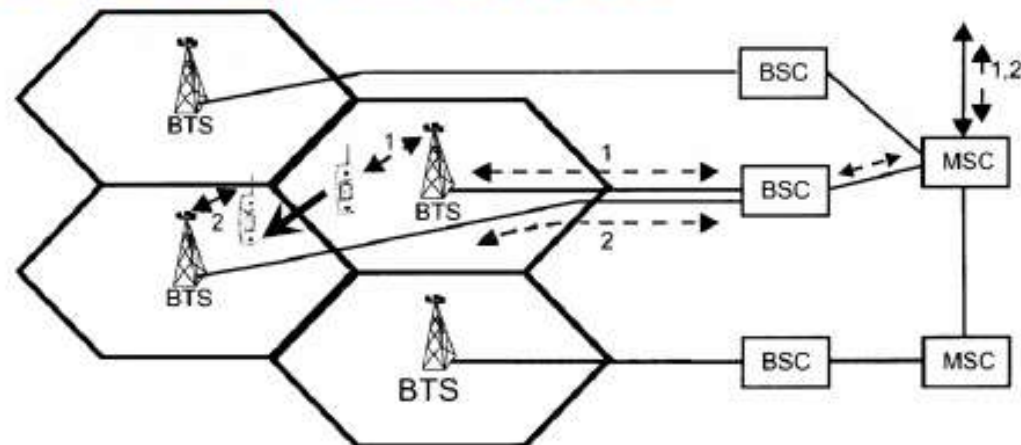
ANTENY SYSTEMU GSM – o tym w innej prezentacji...

Przełączanie połączenia między komórkami w systemie GSM (handover)

Przenoszenie połączenia w ramach tej samej komórki

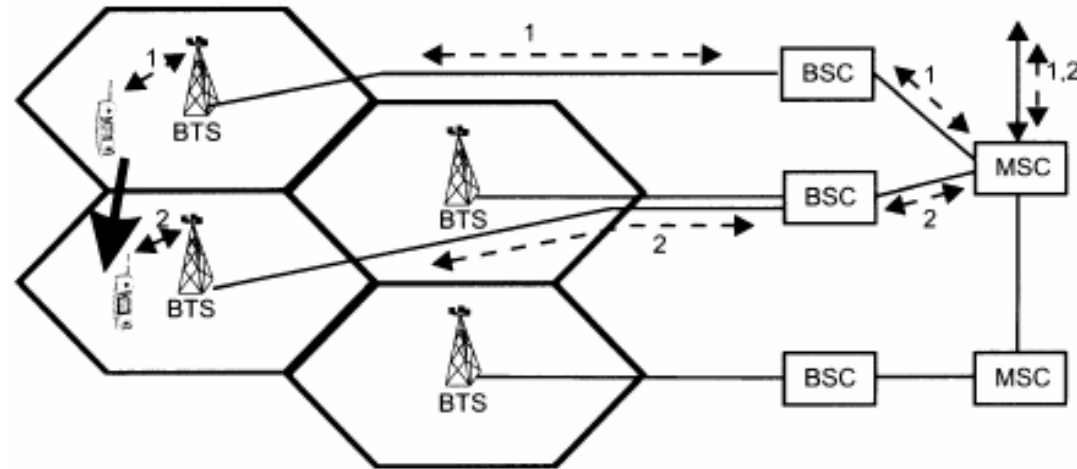


Przenoszenie połączenia między dwiema stacjami bazowymi sterowanymi przez ten sam kontroler BSC

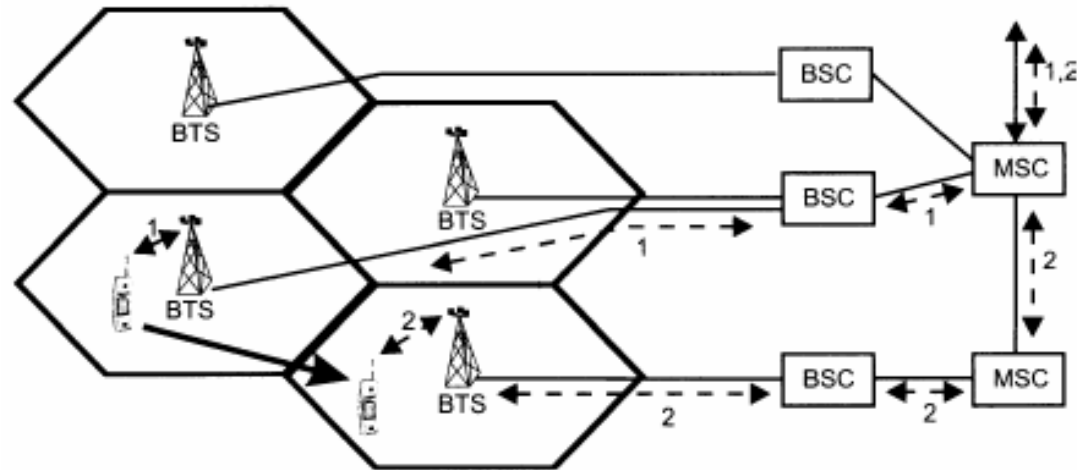


Przełączanie połączenia między komórkami w systemie GSM (handover)

Przenoszenie połączenia pomiędzy dwoma kontrolerami BSC



Przenoszenie połączenia pomiędzy dwiema centralami MSC



Transmisja danych w systemie GSM

Klasyczny system GSM

Możliwa jest transmisja danych z wykorzystaniem pojedynczego kanału z szybkością 9,6 kbit/s oraz przesyłanie krótkich wiadomości SMS (do 160 znaków).

Podsystem HSCD (High Speed Circuit Switched Data)

Programowe rozszerzenie możliwości systemu GSM, umożliwiające jednoczesne użycie kilku kanałów czasowych (szczelin) jednego kanału częstotliwościowego do przesyłania danych w trybie komutacji kanałów przez okres trwania połączenia.

-Wykorzystanie 4. takich kanałów (o przepływności 14,4 kbit/s każdy zamiast 9,6 kbit/s) umożliwia uzyskanie stałej szybkości 57,6 kbit/s.

-Zwiększenie przepływności pojedynczego kanału czasowego (z 9,6 do 14,4 kbit/s) osiągnięto przez zastosowanie bardziej efektywnego sposobu kodowania kanałowego.

Transmisja danych w systemie GSM

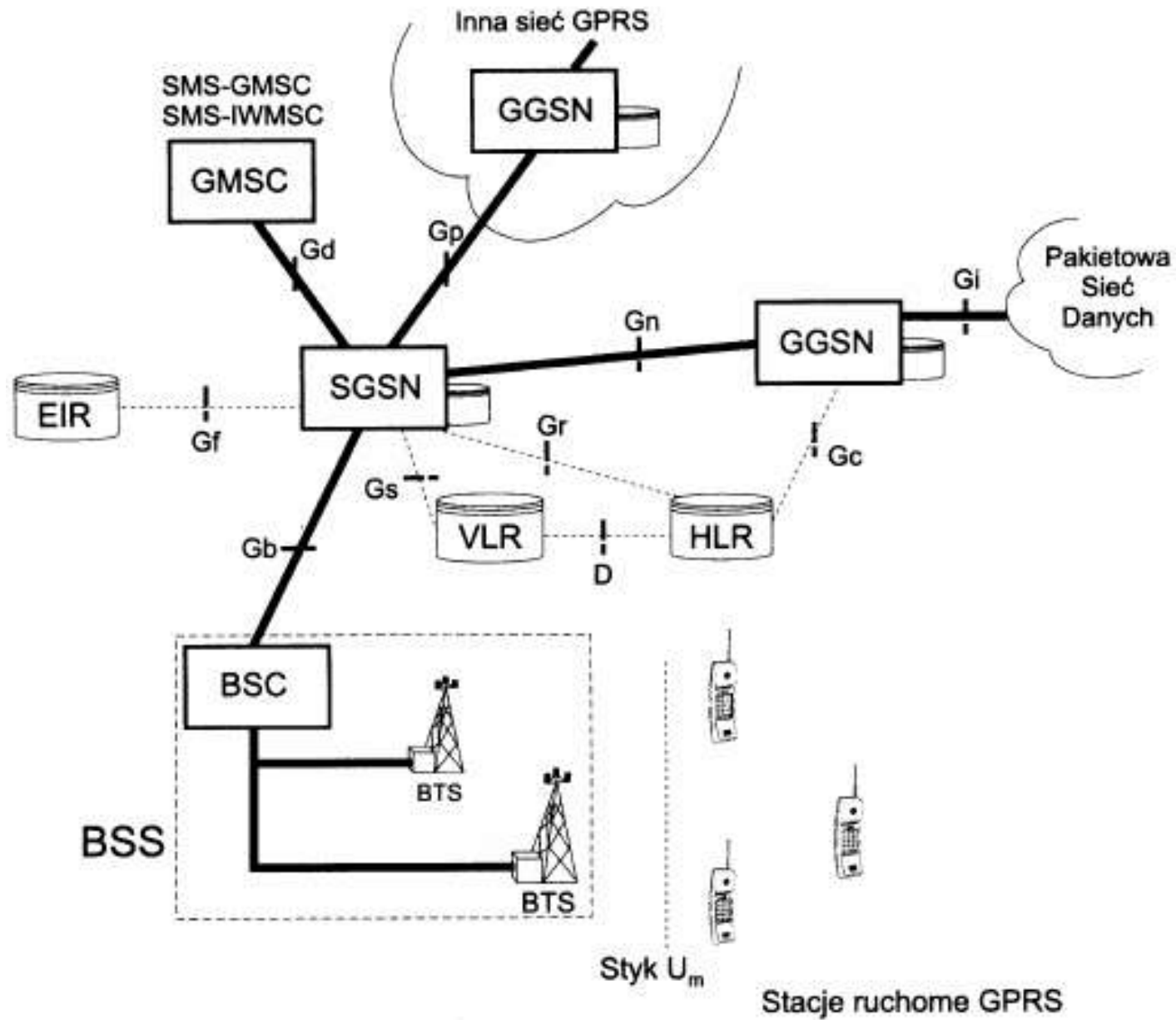
Podsystem GPRS (General Packet Radio Service)

Umożliwia szybkości transmisji w trybie pakietowym (z protokołem IP) do 171,2 kbit/s. Uzyskano to przez łączenie kanałów czasowych jednego kanału częstotliwościowego (maksymalnie 8) i nowym kodowaniem transmisji umożliwiającym osiągnięcie szybkości o wartościach: 9,05 / 13,4 / 15,8 / 21,4 kbit/s.

Podsystem EDGE (Enhanced of Data Transmission for GSM Evolution – rozszerzona transmisja danych)

Jest to ewolucja podsystemu GPRS (EGPRS) polegająca na zmianie metod modulacji w kanale radiowym na 8PSK i zmianie sposobu przetwarzania sygnałów w kanale radiowym; umożliwia transmisję z szybkością do 384 kbit/s.

Architektura systemu GPRS



Architektura systemu GPRS

SGSN (Serving GPRS Support Node) – węzeł obsługujący GPRS

- jest odpowiedzialny za dostarczanie i odbiór pakietów do i od stacji ruchomych znajdujących się w jego obszarze obsługi,
- działa podobnie jak centrala MSC w standardowym systemie GSM.
- określa trasę transmitowanych pakietów i przesyła je do odpowiednich węzłów,
- zarządza mobilnością stacji ruchomych i jest odpowiedzialny za zarządzanie łączami logicznymi,
- wykonuje funkcje potwierdzania autentyczności stacji ruchomych i przechowuje całą informację o abonentach systemu GPRS zarejestrowanych w rejestrze lokalizacji danego węzła SGSN.

Architektura systemu GPRS

GGSN (Gateway GPRS Support Node) – węzeł wejściowy GPRS

- jest urządzeniem pośredniczącym między siecią szkieletową GPRS i zewnętrznymi pakietowymi sieciami danych,
- dokonuje konwersji pakietów GPRS do odpowiedniego formatu danych, obowiązującego w sieci ewnętrznej.

Wszystkie węzły sieci GPRS są połączone siecią szkieletową stosującą protokół IP.

System UMTS

Zakresy przeznaczone do transmisji naziemnej

-1900 – 1920 MHz i 2010 – 2025 MHz (szerokości zakresów: 20 i 15 MHz, odstęp międzykanałowy: 5 MHz, transmisja w trybie duplexu czasowego TDD i technice szerokopasmowego wielodostępu czasowo-kodowego TD-CDMA),

-1920 – 1980 MHz (szerokość zakresu: 60 MHz, odstęp międzykanałowy: 5 MHz, transmisja w trybie duplexu częstotliwościowego FDD i technice szerokopasmowego wielodostępu kodowego i rozpraszaniem bezpośrednim WCDMA DSSS, „w górę”),

-2110 – 2180 MHz (szerokość zakresu: 60 MHz, odstęp międzykanałowy: 5 MHz, transmisja w trybie duplexu częstotliwościowego FDD i technice szerokopasmowego wielodostępu kodowego i rozpraszaniem bezpośrednim WCDMA DSSS, „w dół”)

Zakresy przeznaczone do transmisji satelitarnej

-1980 – 2010 MHz i 2170 – 2200 MHz (szerokość zakresu: po 30 MHz szerokości; pierwszy jest przeznaczony do transmisji „w górę”, a drugi „w dół”; transmisja jest w trybie FDD).

Transmisja satelitarna stanowi uzupełnienie części naziemnej na obszarach o małej gęstości ruchu telekomunikacyjnego.

System UMTS – przepływności transmisji

- do 2 Mbit/s – w pikokomórkach (w odległości do 0,2 km od stacji bazowych), dla terminali nieruchomych lub poruszających się z szybkością pieszego,
- do 384 kbit/s – w mikrokomórkach (w odległości do 2 km od stacji bazowych), dla terminali poruszających się z szybkością do 120 km/h,
- do 144 kbit/s – w makrokomórkach, dla terminali poruszających się z szybkością do 500 km/h.

* Szybkości transmisji w I i II wersji standardu – R.99 i R.4

Szybka transmisja pakietowa HSDPA

Prace nad szybką transmisją pakietową w łączu w dół (HSDPA – High Speed Downlink Packet Access) rozpoczęły się w 2002 roku, a pierwsze wersje specyfikacji pojawiły się w ramach wersji R5 systemu UMTS.

Technika HSDPA stworzona została z myślą o usługach, w których konieczne jest zapewnienie bardzo dużych przepływności tylko w jednym łączu radiowym – w dół (do stacji ruchomej).

Implementacja transmisji HSDPA w istniejących sieciach UMTS pozwala na zwiększenie przepływności w łączu w dół teoretycznie do 14,4 Mbit/s.

System UMTS, w którym stosowana jest transmisja HSDPA nazywany jest systemem generacji 3.5 (3.5G).

Szybka transmisja pakietowa HSUPA

W wersji R.6 standardu UMTS (2004 r.) wprowadzono szybką transmisję pakietową w łączu w górę – HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) z docelową przepływnością do 5,76 Mbit/s.

Sieć, w której zastosowano oba tryby szybkiej transmisji pakietowej (HSDPA i HSUPA, czyli łącznie HSPA – High Speed Packet Access) bywa określana mianem sieci generacji 3.75G).

Tryby transmisji HSPA są rozwijane w kolejnych wersjach standardu UMTS; w R.7 i R.8 HSPA+ (Evolved HSPA) – do 84 Mbit/s downlink i do 22 Mbit/s uplink.

Istotną nowością w technice HSPA jest zastosowanie hybrydowej transmisji z powtórzeniami (HARQ – Hybrid Automatic Repeat Request), która łączy w sobie zalety tzw. korekcji błędów ze sprzężeniem zwrotnym wyprzedzającym FEC (Feed-forward Error Correction) oraz automatycznego żądania powtórzeń transmisji ARQ (Automatic Repeat Request).

System LTE

Standard LTE – Long Term Evolution (długoterminowa ewolucja).

Opracowywanie standardu: grupa 3GPP (3rd Generation Partnership Project), którą tworzy kilka organizacji standaryzacyjnych.

LTE jest następcą systemu UMTS/HSPA. Spowoduje całkowite przejście na ruch pakietowy oparty na protokole IP, co bardzo ograniczy koszty transmisji w przeliczeniu na 1Mbit/s.

LTE jest określany systemem „prawie czwartej generacji” (3.9G), gdyż tak naprawdę nie spełnia on wymogów stawianych przez ITU (Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny - International Telecommunication Union) dla technologii 4G/IMT-Advanced.

System LTE

Pełną zgodność z wymaganiami dla systemów czwartej generacji (4G) posiadać będzie dopiero standard Advanced-LTE, nad którym trwają jeszcze prace normalizacyjne.

Olbrzymią przewagą tego systemu nad pozostałymi, jest dużo większa maksymalna prędkość przesyłania danych. Dzięki temu możliwe będzie świadczenie takich usług jak:

- bardzo szybki dostęp do Internetu, mobilna telewizja oraz szybkie transfery plików.

Interfejs radiowy LTE używa modulacji OFDM do transmisji danych „w dół” (do telefonu). „W górę” (od telefonu) wykorzystuje SCFDMA (DFTS-FDMA).

Usługa	System		
	GSM	UMTS	LTE
Połączenia głosowe	+	+	+
Wiadomości SMS / MMS	+	+	+
Wysyłanie i odbieranie poczty e-mail	+	+	+
Możliwość wygodnego przeglądania stron WWW		+	+
Odczytywanie i przetwarzanie plików audio	-	+	+
Odczytywanie i wyświetlanie wideoklipów	-	+	+
Usługa VoIP	-	+	+
Wideokonferencja	-	+	+
Transmisja wideo w jakości HD	-	-	+
Szybka transmisja danych	-	-	+
Telewizja na życzenie (VoD)	-	-	+
Gry sieciowe on-line	-	-	+

Porównanie prędkości przesyłu danych w różnych systemach

Technologia	GSM (GPRS)	EDGE	UMTS (HSPA)	LTE
Prędkość maksymalna	64 kbit/s	473 kbit/s	14,4 Mbit/s	150 Mbit/s

*Prędkość maksymalna – prędkość, jaka możliwa jest teoretycznie do osiągnięcia w systemie, w optymalnych warunkach i bez udziału innych użytkowników, którzy mogliby „zabierać” część transferu.

Techniki w systemie LTE

1. Wprowadzono protokół odpowiadający za bezbłędną transmisję o nazwie HARQ.
2. MIMO (Multiple Input Multiple Output) – technika radiowa polegająca na zastosowaniu do nadawania i odbioru sygnału zestawu kilku anten, w celu uwzględnienia i wykorzystania sygnałów dochodzących do odbiornika różnymi drogami; dzięki kilku antenom możliwa jest separacja poszczególnych sygnałów i ich poprawne zsumowanie, przez co wielodrogowość nie wpływa na pogorszenie jakości łączności a wręcz przeciwnie, do odbiornika zwykle dociera sygnał o wyższym poziomie. MIMO wykorzystuje matryce antenowe 2 x 2 (2 anteny nadawcze, 2 anteny odbiorcze) oraz 4 x 4.

Stosowana jest również technika SISO (Single Input Single Output), ale system oferuje wtedy mniejsze przepustowości.

3. Zmianie uległa architektura systemu (zmniejszyła się liczba funkcji, za które odpowiedzialny był szkielet sieci – zostały one przeniesione na obrzeża sieci), co zapewniło małe opóźnienie i usprawniło przenoszenie pakietów przez sieć (tzw. routing).

LTE – kategorie urządzeń mobilnych

Zdefiniowano pięć kategorii urządzeń mobilnych (telefony komórkowe, modemy komputerowe) wspierających LTE.

Główną cechą rozróżniającą poszczególne kategorie, a będącą bardzo istotną z punktu widzenia użytkownika jest maksymalna przepustowość łącza „w górę” i „w dół”.

Kategoria		1	2	3	4	5
Maksymalna szybkość [Mbit/s]	Łącze w dół	10	50	100	150	300
	Łącze w górę	5	25	50	50	75

Parametry systemu LTE

Maksymalna przepustowość

W dół (do MS)

- 100 Mbit/s przy użyciu techniki SISO (Single Input Single Output)
- 173 Mbit/s przy użyciu techniki 2 x 2 MIMO (Multiple Input Multiple Output)
- 326 Mbit/s dla 4 x 4 MIMO i szerokości kanału 20 MHz

W górę (z MS)

- 58 Mbit/s
- 86 Mbit/s – warunkiem osiągnięcia takiej prędkości jest brak lub występowanie tylko niewielkich zakłóceń w otoczeniu

Parametry systemu LTE

Wydajność widmowa w porównaniu z HSPA

W danej komórce istnieje możliwość wysłania 3 – 4 razy więcej bitów dla łącza w dół (do MS) oraz 2 – 3 razy więcej bitów dla łącza w górę (z MS) niż w UMTS/HSPA.

Opóźnienie

dla przesyłu pakietów – mniejsze niż 10 ms

Pojemność komórki

200 użytkowników dla kanału 5 MHz

Optymalny zasięg komórki

5 km (możliwe jest również osiągnięcie zasięgu 30 km z rozsądną wydajnością)

Parametry systemu LTE

Szerokości kanałów

1,4 MHz; 3 MHz; 5 MHz; 10 MHz; 15 MHz; 20 MHz – mniejsze szerokości kanałów umożliwiają współpracę ze starszymi systemami, zaś szersze kanały umożliwiają osiągnięcie dużych przepustowości

Zakres częstotliwości

450 MHz – 2,6 GHz – czyli pokrywa cały zakres dotychczas istniejącej telefonii komórkowej

Typ przesyłanych danych

Dane pakietowe – oparty na protokole IP

Usługi w systemie LTE

Rodzaj usług	Charakterystyka
Głos	VoIP, wysokiej jakości wideokonferencje
Wiadomości	Zdjęcia, wideo, maile
WWW	Szybkie przeglądanie stron
Płatne informacje	e-gazety, wysokiej jakości wiadomości audio
Gry	Możliwość wspólnego grania zarówno w sieciach stacjonarnych jak i mobilnych
TV / video on demand (wideo na życzenie)	Transmisje serwisów telewizyjnych, telewizja na życzenie, wysokiej jakości strumienie wideo
Muzyka	Możliwość szybkiego ściągania plików muzycznych oraz ich archiwizowania
Mobilna płatność	Możliwość płacenia przy użyciu telefonów komórkowych (sieci o dużej przepustowości, pozwalają na natychmiastowe przeprowadzenie transakcji)
Transfer danych	Możliwość szybkiego przesyłu większych ilości danych ⁷⁴

Szerokopasmowe radiowe systemy dostępu abonenckiego LMDS

Szerokopasmowe radiowe systemy dostępu abonenckiego są standardem radiowych sieci dostępowych (szerokopasmowe RSDA – w Polsce popularna jest też anglosaska nazwa tych systemów LMDS : Local Multipoint Distribution System).

Operatorzy szerokopasmowych LMDS mogą dostarczać dowolne usługi telekomunikacyjne: dostęp do Internetu, transmisję danych, telefonię, ISDN czy programy telewizyjne.

Systemy LMDS wykorzystują częstotliwości powyżej 25 GHz.

Szerokopasmowe radiowe systemy dostępu abonenckiego LMDS

BUDOWA

Część sieci LMDS, należąca do operatora, ma strukturę komórkową. Tworzą ją stacje bazowe połączone siecią szkieletową. Stacje bazowe wyposażone są w anteny sektorowe.

Zazwyczaj są to cztery anteny w sektorach po 90° każdy, ale mogą istnieć również sektory większe lub mniejsze (45° , 30° , $22,5^\circ$ i 15°).

W celu poprawy pojemności systemu, w różnych komórkach używane są te same zakresy częstotliwości oraz dwie wzajemnie ortogonalne polaryzacje sygnału radiowego. Technikami wielodostępu są najczęściej TDMA i FDMA. Możliwy jest też wielodostęp kodowy CDMA.

Szerokopasmowe radiowe systemy dostępu abonenckiego LMDS

BUDOWA

Zastosowanie wysokich częstotliwości pracy systemów LMDS powoduje, że dla poprawnego działania tych sieci konieczna jest bezpośrednia widoczność między stacjami bazowymi a antenami stacji abonenckich. Przeszkodą w propagacji fal radiowych są nawet drzewa liściaste.

Anteny abonenckie, paraboliczne o średnicy kilkudziesięciu centymetrów, znajdują się zazwyczaj w odległościach nie większych niż kilka kilometrów od stacji bazowej. W niektórych przypadkach mogą to być dystanse kilkunastu kilometrów, jednak oznacza to wzrost prawdopodobieństwa niedostępności połączenia lub mniejszą szybkość transmisji.

Szerokopasmowe radiowe systemy dostępu abonenckiego LMDS

BUDOWA

Systemy LMDS są podatne na wpływ opadu deszczu, powodującego tłumienie sygnału radiowego i zmianę jego polaryzacji. W łączach w górę (abonent - stacja bazowa) stosuje się automatyczną regulację mocy nadawczej. Stacja bazowa informuje nadajnik abonencki o spadku poziomu odbieranego sygnału i nadajnik zwiększa poziom mocy. Jednak takie rozwiązanie jest niemożliwe dla łącza w dół (stacja bazowa - abonent). Stacja bazowa transmituje sygnał o tej samej mocy do wszystkich abonentów, i nie może zmienić poziomu mocy z powodu większego tłumienia na trasie do jednego lub kilku abonentów. Dlatego w przypadku projektowania sieci LMDS bardzo istotna jest szczegółowa analiza statystyczna intensywności opadu deszczu w danym regionie.

Horyzontowe linie radiowe

Horyzontowe linie radiowe LOS (Line-Of-Sight) to łącza typu punkt-punkt (p-p) lub punkt-wiele punktów (p-wp) wykorzystujące częstotliwości powyżej 900 MHz. Linie te są często elementami składowymi większych sieci telekomunikacyjnych. Zazwyczaj przenoszą ruch telefoniczny, jednak mogą służyć transmisji dowolnego typu danych. Obecnie projektuje się tylko cyfrowe linie radiowe, ale spotyka się jeszcze systemy analogowe. W obu przypadkach częstotliwość nośna jest sygnałem sinusoidalnym, jedynie technika modulacji może być cyfrowa – najczęściej FSK, PSK, QAM, lub analogowa – FM.

Horyzontowe linie radiowe

W horyzontowych liniach radiowych stosuje się częstotliwości od 2 do 60 GHz. W tabeli przedstawiono zakresy częstotliwości przeznaczone w Polsce dla linii radiowych p-p i p-wp.

Pasmo [GHz]	Zakres częstotliwości	Typ struktury
2,4	2,4 ÷ 2,4835	p-p, p-wp
3,5	3,41 ÷ 3,6	p-p, p-wp
5,8	5,725 ÷ 5,85	p-p, p-wp
6	5,925 ÷ 7,11	p-p
7	7,425 ÷ 7,725	p-p
8	7,725 ÷ 8,5	p-p
10	10,5 ÷ 10,68	p-p
11	10,7 ÷ 11,7	p-p
13	12,75 ÷ 13,25	p-p
15	14,5 ÷ 15,35	p-p
18	17,7 ÷ 19,7	p-p
23	22 ÷ 23,6	p-p
26	24,25 ÷ 26,6	p-p
28	27,5 ÷ 29,5	p-p, p-wp
38	37 ÷ 39,5	p-p
58	57,2 ÷ 58,2	p-p

Horyzontowe linie radiowe - BUDOWA

Linia radiowa składa się z przęseł czyli odcinków przekaźnikowych. Każde przęsło to dwie stacje oraz tor radiowy między nimi. Pojedyncze przęsło może mieć długość od 2 do 70 kilometrów, choć zdarzają się przypadki przęseł zarówno dłuższych jak i krótszych.

Stosowane są anteny paraboliczne, o średnicach zazwyczaj $0,3 \div 3$ m, zyskach energetycznych rzędu kilkudziesięciu dBi i kątach połowy mocy poniżej 2° .

Horyzontowe linie radiowe - BUDOWA

Prawidłowe dobranie wysokości zawieszenia anten wymaga uwzględnienia kilku aspektów. Musi zostać zapewniona nie tylko widoczność pomiędzy antenami, ale dla swobodnej propagacji fal elektromagnetycznych pod trajektorią fali radiowej musi znajdować się wolna przestrzeń o rozmiarze 60 % pierwszej strefy Fresnela. Konieczne jest uwzględnienie profilu terenu, krzywizny Ziemi i zmian współczynnika załamania – wskaźnika refrakcji troposferycznej.

W większości przęseł, sygnał radiowy dociera od nadajnika do odbiornika nie tylko drogą bezpośrednią, ale również po odbiciu od powierzchni Ziemi. Wysokość zawieszenia anten wpływa na położenie obszaru odbicia na trasie przęsła. Dlatego po ustaleniu wysokości zawieszenia anten, należy je ponownie zweryfikować, tak, aby obszar odbicia znajdował się w miejscu o stosunkowo dużym tłumieniu fali radiowej przez podłoże.

Horyzontowe linie radiowe - BUDOWA

Bardzo trudne, a często niemożliwe, jest zaprojektowanie przęsła linii radiowej przechodzącego nad jeziorem lub morzem. Gładka powierzchnia wodna dobrze odbija fale radiowe, a powstające wtedy zaniki wielodrogowe mogą sięgać nawet 40 dB. Również bilans energetyczny przęsła linii radiowej wymaga uwzględnienia warunków terenowych i klimatycznych, w których przęsło się znajduje. Konieczne są obliczenia tłumienia sygnału radiowego w gazach atmosferycznych i deszczu, oszacowanie poziomu zaników wynikających z wielodrogowości, szumów scyntylacji i rozmiaru przeników polaryzacyjnych.

Pozahoryzontowe linie radiowe

Linie radiowe działające przy braku optycznej widoczności między antenami stacji przekąźnikowych określane są mianem pozahoryzontowych OTH (Over-The-Horizon). Brak widoczności może wynikać z dużych odległości między stacjami i wówczas krzywizna Ziemi powoduje, że stacje znajdują się względem siebie pod linią horyzontu. Brak widoczności może być również skutkiem istnienia przeszkody terenowej, np. wzniesienia na trasie propagacji wiązki mikrofalowej.

Przęśla linii OTH mają zazwyczaj długości od 70 do 700 km.

Wykorzystując częstotliwości z zakresu od 250 MHz do 6 GHz. Na stacjach przekąźnikowych stosowane są anteny paraboliczne o średnicach od 2 do 40 m, umieszczane nisko nad powierzchnią Ziemi.

Pozahoryzontowe linie radiowe - ZASTOSOWANIE

Linie OTH znajdują zastosowanie :

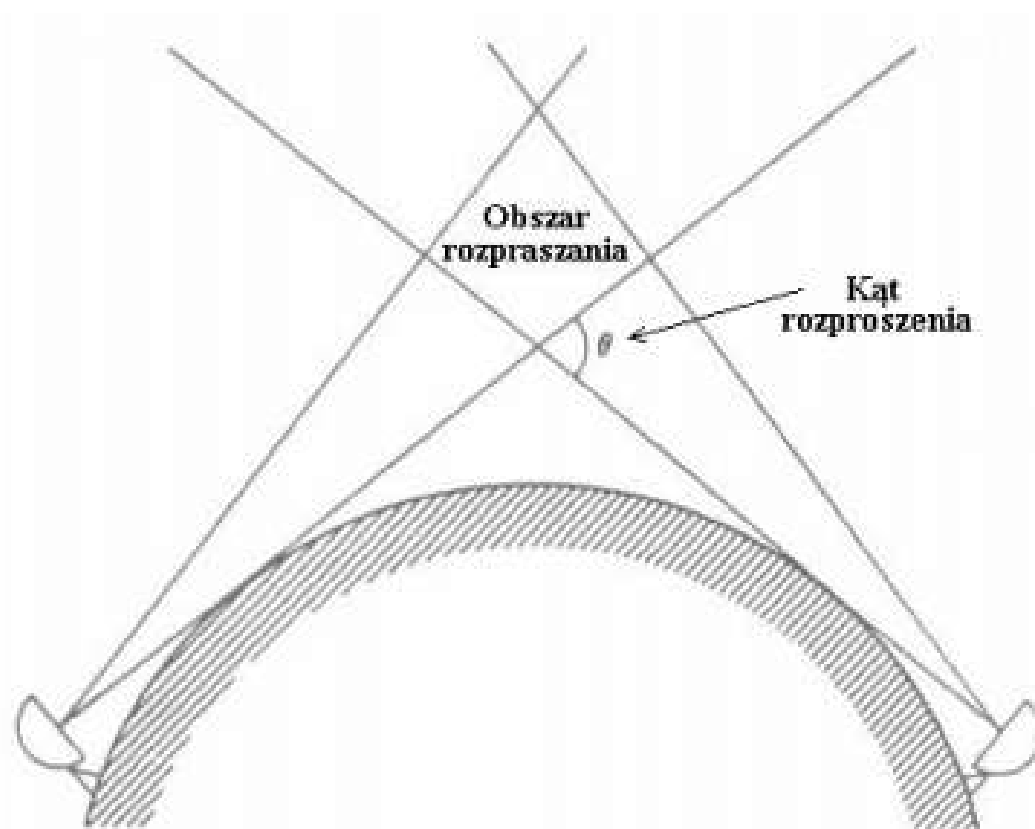
- w miejscach, gdzie nie ma możliwości zbudowania krótszych przęseł linii LOS,
- w przypadkach, gdy przęsło prowadzi nad powierzchnią wody, przez teren górski lub należący do innego państwa,
- w wojskowych systemach telekomunikacyjnych.

Pozahoryzontowe linie radiowe - DZIAŁANIE

Współczesne pozahoryzontowe linie radiowe działają w oparciu o zjawisko rozproszenia troposferycznego lub dyfrakcji sygnału radiowego na przeszkodach terenowych.

Pozahoryzontowe linie radiowe - DZIAŁANIE

Rozproszenie troposferyczne jest możliwe dzięki istnieniu w atmosferze obszarów o odmiennym od otoczenia współczynniku refrakcji. Obszary takie powstają na skutek ciągłego mieszania się powietrza w atmosferze. Wiązka fal radiowych, gdy trafi na taki obszar, rozprasza się. Większość energii przechodzi bez zmiany kierunku, jednak część powraca w kierunku powierzchni Ziemi. Sygnał docierający w ten sposób do stacji odbiorczej jest tym silniejszy, im mniejszy jest kąt rozproszenia θ (rys.). Rozproszenie troposferyczne jest zjawiskiem dominującym dla dłuższych przęseł linii OTH – zazwyczaj powyżej 160 km.

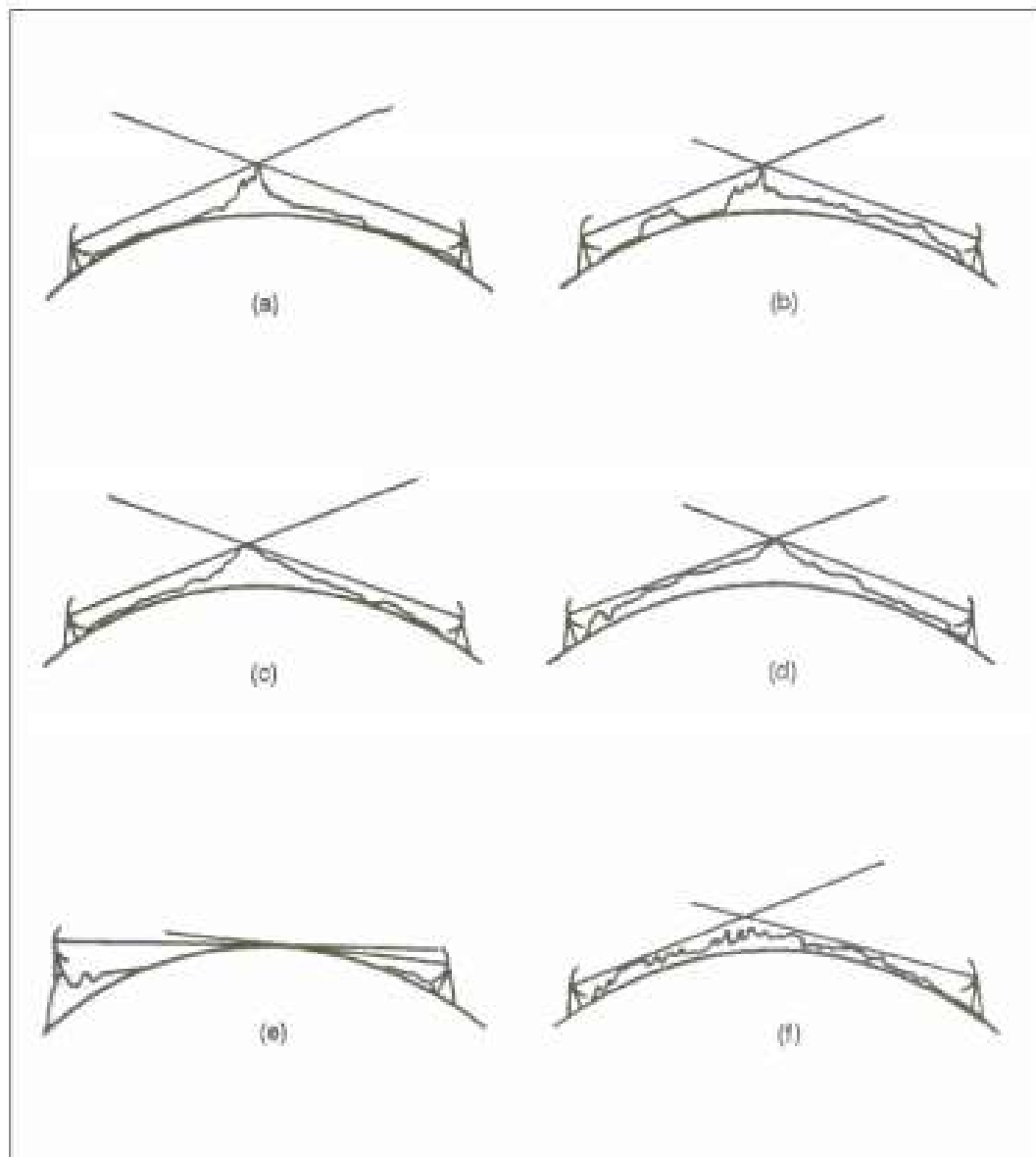


Pozahoryzontowe linie radiowe - DZIAŁANIE

Dyfrakcja, czyli ugięcie fali radiowej na przeszkodzie terenowej jest zjawiskiem charakterystycznym dla krótszych pręseł – o długościach poniżej 160 km. W zależności od rodzaju terenu, wyróżnia się sześć przypadków dyfrakcji, przedstawionych na rysunku:

- (a) na pojedynczej, ostrej przeszkodzie terenowej, bez odbić od powierzchni Ziemi,
- (b) na pojedynczej, ostrej przeszkodzie terenowej, z odbiciami od powierzchni Ziemi,
- (c) na pojedynczym, łagodnym wzniesieniu, bez odbić od powierzchni Ziemi,
- (d) na pojedynczym, łagodnym wzniesieniu, z odbiciami od powierzchni Ziemi,
- (e) na gładkiej powierzchni Ziemi, np. obszarze wodnym,
- (f) na terenie nieregularnym.

Pozahoryzontowe linie radiowe - DZIAŁANIE



Porównanie różnych
przypadków dyfrakcji

Pozahoryzontowe linie radiowe - DZIAŁANIE

Projektowanie przęsła pozahoryzontowej linii radiowej wymaga zaklasyfikowania obszaru, w którym znajduje się przęsło, do jednej z dziewięciu stref klimatycznych:

1. równikowej,
2. podrównikowej kontynentalnej,
3. podrównikowej morskiej,
4. pustynnej,
5. śródziemnomorskiej,
6. umiarkowanej kontynentalnej,
- 7a. umiarkowanej morskiej i obszarach w głębi lądu,
- 7b. umiarkowanej morskiej i obszarach nadbrzeżnych,
8. polarnej.

Pozahoryzontowe linie radiowe - DZIAŁANIE

Typ klimatu wpływa na tłumienie trasy przęśła linii OTH. Tłumienie to wynosi około $170 \div 190$ dB dla krótszych przęseł, wykorzystujących zjawisko dyfrakcji, i około $180 \div 260$ dB dla długich przęseł, działających dzięki rozproszeniu troposferycznemu fal radiowych.

Satelitarne systemy telekomunikacyjne

W systemach satelitarnych wymiana informacji odbywa się drogą radiową za pośrednictwem sztucznych satelitów Ziemi. Według ustaleń Międzynarodowej Konferencji Radiokomunikacyjnej WARC (World Administrative Radio Conference) systemy satelitarne dzieli się z punktu widzenia świadczonych przez nie usług na :

- systemy służby stałej FSS (Fixed Satellite Service) – usługi dla abonentów stacjonarnych,
- systemy służby ruchomej MSS (Mobile Satellite Service) – usługi dla abonentów ruchomych, także dla jednostek lotniczych i morskich,
- systemy służby radiodifuzyjnej BSS (Broadcast Satellite Service) – usługi rozgłoszeniowe, programy telewizyjne i radiowe.

Satelitarne systemy telekomunikacyjne - BUDOWA

W każdym systemie satelitarnym można wyróżnić trzy elementy składowe :

- segment naziemny,
- segment kosmiczny,
- kanał radiowy.

Satelitarne systemy telekomunikacyjne - BUDOWA

Segment naziemny stanowią terminale abonenckie, ruchome lub stacjonarne, oraz sieć szkieletowa. Do sieci szkieletowej należą również stacje bazowe prowadzące łączność z terminalami abonentów poprzez segment kosmiczny. Sieć szkieletowa może komunikować się z innymi sieciami telekomunikacyjnymi przez węzły zwane adapterami sieciowymi lub węzłami tranzytowymi (ang. gateway). W przypadku systemu satelitarnego, świadczącego usługi rozgłoszeniowe, segment naziemny składa się z nadajnika programów telewizyjnych lub radiowych oraz odbiorników abonenckich odbierających te programy za pośrednictwem satelity.

Satelitarne systemy telekomunikacyjne - BUDOWA

Segment kosmiczny to satelity umieszczone na orbitach okołoziemskich.

Satelity można klasyfikować za względu na typ orbity. Wyróżnia się orbity :

- niskie LEO (Low Earth Orbit),
- średnie MEO (Medium Earth Orbit),
- wysokie eliptyczne HEO (Highly Elliptical Orbit),
- geostacjonarne GEO (GEOstationary orbit).

Satelitarne systemy telekomunikacyjne - BUDOWA

SATELITY LEO

Satelity na orbitach LEO przemieszczają się na wysokości od 500 km do 200 km nad powierzchnią Ziemi.

Można prowadzić łączność z satelitą niskoorbitowym przez maksymalnie 20 minut...

Budowa globalnego systemu opartego na satelitach niskoorbitowych wymaga instalacji kilkudziesięciu takich satelitów.

Satelitarne systemy telekomunikacyjne - BUDOWA

SATELITA MEO

Orbity satelitów MEO znajdują się na wysokości od 8 do 12 tys. km.

Satelita krążący po orbicie MEO jest widziany z jednego punktu na powierzchni Ziemi przez kilka godzin. System globalny wymaga minimum 10 satelitów tego typu.

Satelitarne systemy telekomunikacyjne - BUDOWA

SATELITA HEO

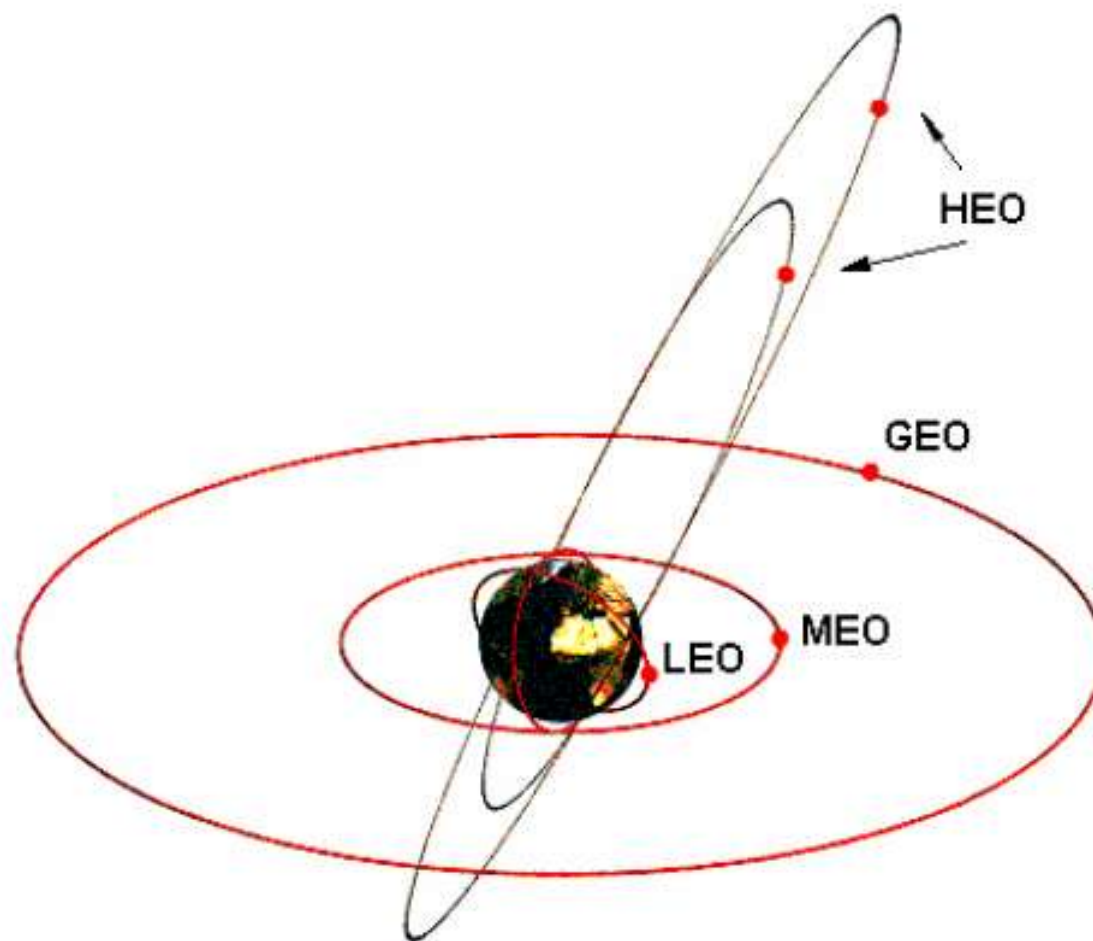
Perygeum orbity satelitów HEO wynosi około 500 km, zaś apogeum około 50 tys. km. Dzięki takim właśnie wysokościom orbity, satelita jest widoczny z danego obszaru na Ziemi jako prawie nieruchomy przez pewien okres czasu. W oparciu o kilka satelitów HEO można stworzyć system o zasięgu regionalnym.

Satelitarne systemy telekomunikacyjne - BUDOWA

SATELITA GEO

Satelity geostacjonarne przemieszczają się po orbitach kołowych na wysokości 35 786km nad powierzchnią Ziemi. Satelita krążący po takiej orbicie w płaszczyźnie równika ziemskiego jest widziany z powierzchni Ziemi jako obiekt nieruchomy. Wynika to z równych prędkości kątowych Ziemi i satelity.

Porównanie orbit różnych typów



WiFi

WiFi (Wireless Fidelity) - zestaw standardów umożliwiających budowę sieci bezprzewodowych w oparciu o standard IEEE 802.11. WiFi jest nazwą zarejestrowana przez stowarzyszenie Wi-Fi Alliance, którego celem jest popularyzacja standardu.

» 802.11b – pasmo 2.4GHz, przepustowość: 1 – 11Mbps (DSS z modulacjami: DBPSK, DQPSK, CCK).

» 802.11g – pasmo 2.4GHz (a także 900MHz), przepustowość: 6 – 54Mbps (OFDM z modulacjami: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM).

» 802.11a – pasmo 5GHz, 4.9GHz (Public Safety w USA), przepustowość: 6 – 54Mbps, (OFDM z modulacjami: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM).

WiFi – architektura sieci

Centralnym punktem jest **Access Point** – punkt dostępowy, którego zadaniem jest umożliwienie urządzeniom klienckim dostępu do sieci przewodowej (np. internetu).

- » AP może narzucić stacjom reguły bezpieczeństwa (szyfrowanie, protokół uwierzytelniania).

- » AP może decydować które ze stacji mogą się podłączyć i na jak długo.

- » AP Nie ma wpływu na to kto i kiedy nadaje.

- » Bardzo ograniczony mechanizm QoS (Quality of Service)

AP posiada 4 kolejki danych o zróżnicowanym priorytecie dla usług typu VoIP, video, komunikatów zarządzających oraz pozostałych danych. Brak możliwości ustawiania priorytetów per klient.

WiFi – architektura sieci

KLIENT

Pod pojęciem stacji rozumiemy każde urządzenie posiadające interfejs radiowy działający w trybie stacji (klienta).

- » Stacją będzie więc PDA, Laptop, Telefon VoIP, kamera bezprzewodowa czy aparat fotograficzny wyposażony w kartę radiową.
- » Aby się podłączyć stacja musi spełnić warunki stawiane przez AP - pracować w odpowiednim standardzie, z odpowiednią modulacją, wspierać wymaganą metodę uwierzytelniania czy algorytm szyfrowania.
- » Stacja nie może wysyłać ani odbierać żadnych informacji do/z AP dopóki nie zasocjuje się poprawnie z AP.

WiFi – architektura sieci

W sieciach WiFi nie ma mechanizmu określającego kolejność nadawania (jak np. w sieciach typu token ring czy wimax).

» Kto ma dane do wysłania wysyła je. Takie podejście powoduje ryzyko częstych kolizji (podobnie jak to ma miejsce w sieciach ethernet).

» Mechanizm wykrywania kolizji i ponawiania transmisji. W przypadku wykrycia kolizji stacja wysyła wiadomość ponownie z losowym opóźnieniem.

» Wszystkie przesyłane dane są potwierdzane. W przypadku nie otrzymania potwierdzenia w określonym czasie następuje retransmisja.

» Po wykorzystaniu limitu retransmisji i nie otrzymaniu potwierdzenia pakiet jest odrzucany.

WiFi - Ramki zarządzające

- » Beacon
- » Probe Request
- » Probe Response
- » Association Request
- » Association Response
- » Authentication
- » Deauthentication
- » Reassociation Request
- » Reassociation Response
- » Disassociation

WiFi - Ramki zarządzające

Beacon

Termin Beacon jest stosowany w odniesieniu do urządzeń wspomagających nawigację na morzu czy w powietrzu (jest synonimem latarni morskiej, radiolatarni czy boi ostrzegawczej).

- » AP informuje o swoim istnieniu wysyłając wiadomość zwaną Beaconem.
- » Zawiera ona wszelkie informacje niezbędne dla stacji do zlokalizowania i podłączenia się do AP (standard, numer kanału, lista bitrate'ów, informacja o zabezpieczeniach).
- » Beaconsy są rozsyłane najczęściej co 100ms z użyciem najniższej wspieranej modulacji tak aby każda stacja mogła je usłyszeć.
- » Beacon jest wiadomością niepotwierdzaną – stacja nie wysyła odpowiedzi po jego odebraniu.

WiFi - Ramki zarządzające

Probe Request/Response

Ramka Probe Request wysyłana z broadcastowym SSID jest przez stacje podczas tzw. skanowania aktywnego.

» AP ma obowiązek odpowiedzi na każdy otrzymany Probe Request za pomocą ramki Probe Response.

» Ramka Probe Response zawiera dokładnie te same dane co ramka Beacon rozsyłana przez AP.

» Odświeżenie listy dostępnych sieci bezprzewodowych polega właśnie na skanowaniu aktywnym.

» Opcja Hide SSID (czy wyłączenie opcji Guest Mode w Cisco) polega na nie wysyłaniu SSID w ramach Probe Response i Beacon. Pozwala to „ukryć” sieć bezprzewodową.

WiFi - Ramki zarządzające

Association Request/Response

Ramka Association Request wysyłana jest przez stację w celu nawiązania połączenia z AP.

» AP sprawdza, czy stacja spełnia wymagane warunki (używa odpowiedniego standardu czy bitrate'u) i odpowiada za pomocą ramki Association Response zawierającą potwierdzenie podłączenia lub kod błędu.

» Podczas procesu asocjacji może nastąpić weryfikacja adresu MAC stacji na liście ACL (Access Control List).

WiFi - Ramki zarządzające

Autentykacja

Autentykacja – proces uwierzytelnienia stacji przez AP.

Metody uwierzytelniania:

- » Open – każda stacja zostaje uwierzytelniona,
- » Shared – wykorzystanie statycznego współdzielonego klucza WEP (Wired Equivalent Privacy) do szyfrowania transmitowanych danych.
- » WPA-PSK – wykorzystanie mechanizmu WPA z hasłem chroniącym dostęp do sieci. Hasło służy jedynie do potwierdzenia tożsamości, transmisja jest szyfrowana za pomocą wygenerowanych zmiennych kluczy.
- » WPA-EAP – wykorzystanie mechanizmu WPA z uwierzytelnianiem w zewnętrznym serwerze RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service).

WiFi - Ramki zarządzające

Authentication/Deauthentication

W przypadku AP działających w trybie chronionym, każda stacja zanim zostanie dopuszczona do transmisji danych musi się uwierzytelnić.

W zależności od metody uwierzytelnienia proces autentykacji może składać się z wielu wymienianych wiadomości warstwy zarządzającej.

W przypadku niemożności uwierzytelnienia stacji, zostaje wysłana wiadomość Deauthentication.

Wiadomości Deauthentication są wysyłane także gdy ustanie pozwolenie na podłączenie (np. stacja została uwierzytelniona na określony czas).

WiFi - Ramki zarządzające

Ressociation Request/Response

Ramka Ressociation Request wysyłana jest przez stację w celu ponowienia asocjacji z AP. Występuje to w sytuacji gdy stacja chwilowo zgubiła połączenie z AP, czy przełączyła się na chwile do innego AP.

W przypadku sieci zabezpieczonych, często wymaga się od stacji okresowej reasocjacji w celu odświeżenia kluczy szyfrujących.

WiFi - Ramki zarządzające

Deassociation

Ramka Deassociation jest wysyłana przez stacje w momencie rozłączania się od AP.

Wiadomość deasocjacyjna nie jest potwierdzana – stacji nie interesuje, czy wiadomość została odebrana przez AP czy nie. Po wysłaniu ramki po prostu rozłącza się.

» AP musi sobie umieć radzić w sytuacjach gdy stacja nie wyśle, bądź wiadomość o deasocjacji nie dotrze do AP.

» Najczęściej AP wysyła specjalne ramki zarządzające do nieaktywnych stacji w celu sprawdzenia czy działają. W przypadku nie otrzymania odpowiedzi na kilka wysłanych ramek stacja jest rozłączana (AP wysyła ramkę Deassociation i usuwa stację z listy podłączonych stacji).

WiFi - Ramki zarządzające

Ramki kontrolne

» Request to send (RTS) – ramka wysyłana przez stację, w celu poinformowania AP o chęci wysłania danych.

» Clear to send (CTS) – ramka wysyłana przez AP jako odpowiedź (zezwolenie na transmisję) na ramkę RTS.

Mechanizm RTS/CTS jest opcjonalny i nie ma konieczności jego używania (w idealnych warunkach używanie RTS/CTS wpływa na zmniejszenie przepustowości).

» Acknowledgment (ACK) – potwierdzenie wysyłane po otrzymaniu danych. Jeśli w określonym czasie nie zostanie otrzymana ramka ACK transmisja jest ponawiana.

Bezpieczeństwo sieci bezprzewodowych

W przeciwieństwie do sieci kablowych istnieje duże ryzyko podsłuchania transmitowanych danych – wystarczy znać częstotliwość pracy sieci i można zacząć podsłuchiwać dane.

W celu ochrony sieci przed niepowołanym dostępem stosuje się różne mechanizmy uwierzytelniania (MAC ACL, klucz WEP, metody związane z WPA – PEAP, LEAP, TLS, PSK).

Mechanizm uwierzytelniania sam z siebie nie zabezpiecza przed podsłuchaniem transmitowanych danych.

W celu zabezpieczenia transmisji stosuje się szyfrowanie danych za pomocą algorytmów TKIP i CCMP (AES).

Każdy algorytm szyfrowania można złamać – to tylko kwestia czasu. Trzeba mieć to na uwadze.

WiMAX

WiMAX (World Interoperability for Microwave Access), grupa standardów IEEE 802.16 tworząca MAN.

Zasięg działania wynosi maksymalnie ok. 50 km, natomiast prędkość transmisji może osiągnąć 70 Mbit/s.

Sieć WiMAX działa w zakresie 2-66 GHz.

IEEE 802.16 bazuje na następujących protokołach warstwy fizycznej:

- SC (Single Carrier)
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

	802.16	802.16a/802.16-2004	802.16e
Pasmo	10-66 GHz	<11 GHz	<6 GHz
Wymagany LOS	Tak	Nie	Nie
Przepustowość	32-134 Mb/s w kanale o szerokości 28 MHz	Do 75 Mb/s w kanale 20 MHz	Do 15 Mb/s w kanale 5 MHz
Modulacja	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256, OFDMA - 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	Tak jak 802.16a / 802.16-2004
Mobilność	Tylko dostęp stały	Dostęp stały i przenośność	Pełna mobilność, roaming obszarowy
Szerokości kanałów	20, 25, 28 MHz	Do wyboru: 1,25-20 MHz (w Europie max. 28 MHz)	Tak jak 802.16a / 802.16-2004
Typowy promień komórki	1-5 km(1-3 mil)	5-8 km (3-5 mil), maksymalny zasięg do 50 km (30 mil), zależny m.in. od wysokości wieży, zysku anteny i wytransmitowanej mocy	0,6-5 km(1-3 mil)

WiMAX- 802.16-2004

Standard zatwierdzony w 2004 roku. Stworzony po to by umożliwić dostęp do szerokopasmowych usług na dużym obszarze.

Umożliwia komunikację bez widoczności optycznej (NLOS Non-Line-of-Sight).

Ze względu na duże tłumienie fal o wysokiej częstotliwości i w związku z tym mały zasięg, standard rozwija się w częstotliwościach 3,5 GHz (3,4-3,6GHz oraz 3,6-3,8), nielicencjonowane pasmo 5,8 GHz (w Polsce zdyskwalifikowane przez duże ograniczenie mocy) i licencjonowane pasmo 2,5 GHz (w Polsce niedostępne).

Popularność sieci WiMAX

Cała Belgia objęta jest siecią WiMAX

Standard WiMAX dopiero raczkuje w Polsce, ale przeprowadzono już przetargi (stan na lata 2006) na częstotliwość 3,6 - 3,8 GHz dającą możliwość świadczenia usług.

Wygrały je takie firmy jak: E-internets, Exatel, Era, Netia, NASK i SferaNET.

W Bielsku-Białej, Żywcu i gminie Zielonka k. Warszawy działają już sieci oparte na standardzie 802.16-2004.

	802.11a	802.11b	802.11g	802.16d
Maksymalna przepustowość	54 Mb/s	11 Mb/s	54 Mb/s	75 Mb/s
Pasmo	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2-66 GHz
Zasięg	50 m - 10km	1 km	100 m	50 km
Szerokość kanału	20 MHz	20 MHz	20 MHz	1,5 – 20 MHz
Wydajność widmowa	2,7 bps/Hz	0,6 bps/Hz	2,7 bps/Hz	5 bps/Hz
Technika radiowa	OFDM	DSSS	OFDM	W-OFDM
QoS	NIE	Teoretycznie NIE, trwają jednak prace nad standardem QoS dla sieci WLAN – 802.11e	NIE	TAK
Przeznaczenie	LAN	LAN	LAN	MAN

Bluetooth

Niepotrzebna bezpośrednia widzialność urządzeń.

Opracowany w 1999 roku z inicjatywy firm Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba.

Podstawowe przeznaczenie to łączność urządzeń telekomunikacyjnych z komputerowymi.

Duża liczba akcesoriów dodatkowych zwłaszcza w telekomunikacji.

Pasma: 2,4 - 2,43856 GHz; Kanały o szerokości 1MHz;

Liczba kanałów od 26 do 79 i zależy od kraju.

Maksymalna moc nadajnika wynosi 100mW (zasięg 10m).

Prędkość transmisji 1Mbit/s.

Stosowana technologia widma rozproszonego metodą przeskoków częstotliwości.

Modulacja GSKF;

Dwukierunkowość półdupleksowa;

Wszystkie stacje prowadzą nasłuch łącza.

Połączenie inicjowane przez stację, która staje się stacją nadrzędną. Po zakończeniu połączenia stacja nadrzędna informuje pozostałe stacje. Co najmniej 2 stacje pracują w tym samym kanale tworząc podsieć. Jedna stacja w podsieci to stacja nadrzędna.

Kilka podsieci na wspólnym obszarze tworzy sieć rozproszoną. Poszczególne podsieci nie są ze sobą zsynchronizowane i pracują na różnych kanałach.

Kanały radiowe

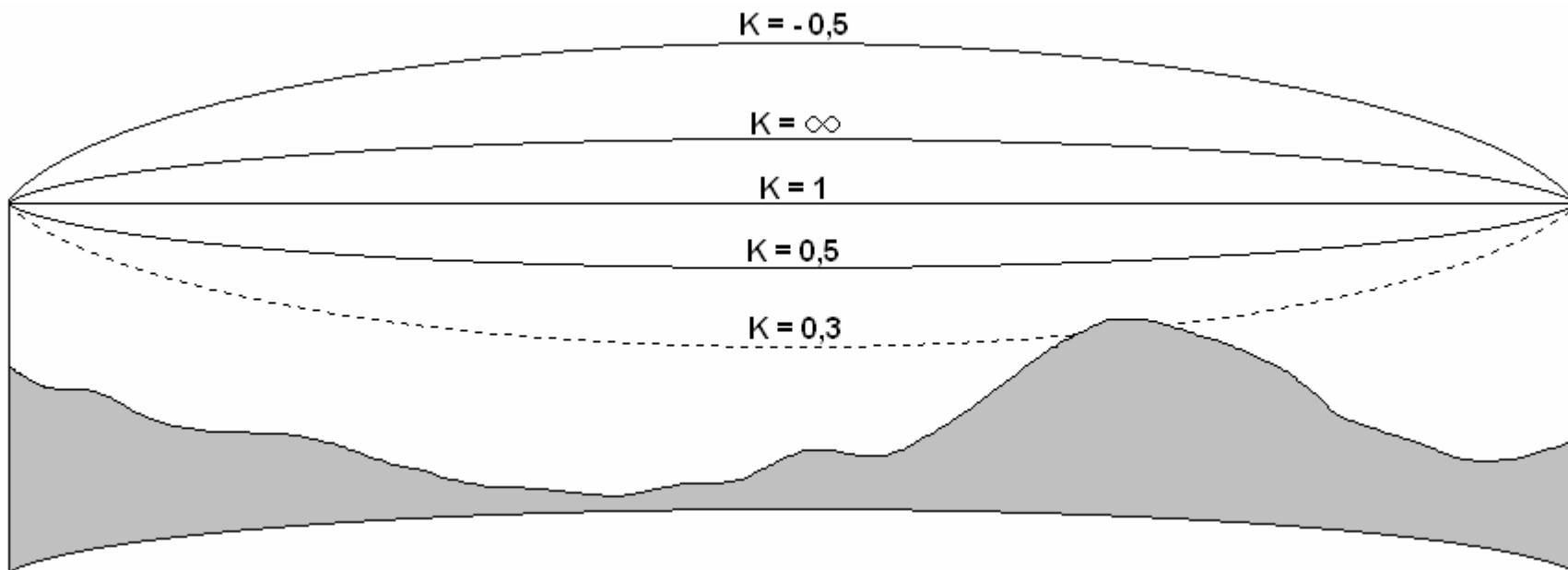
Kanały radiowe, wykorzystywane w systemach satelitarnych lokuje się w określonych na forum międzynarodowym zakresach częstotliwości przeznaczonych dla telekomunikacji satelitarnej.

Sygnał radiowy w łączu Ziemia-satelita przechodzi przez wszystkie warstwy atmosfery. Ponieważ systemy satelitarne wykorzystują częstotliwości powyżej 1 GHz, wpływ jonosfery na ich działanie jest znikomy. Dużo istotniejszą rolę odgrywa troposfera. Na skutek zachodzących w niej procesów, sygnał radiowy w łączu satelitarnym podlega takim zjawiskom jak tłumienie w deszczu, gazach atmosferycznych i inne zjawiska niekorzystne.

Refrakcja

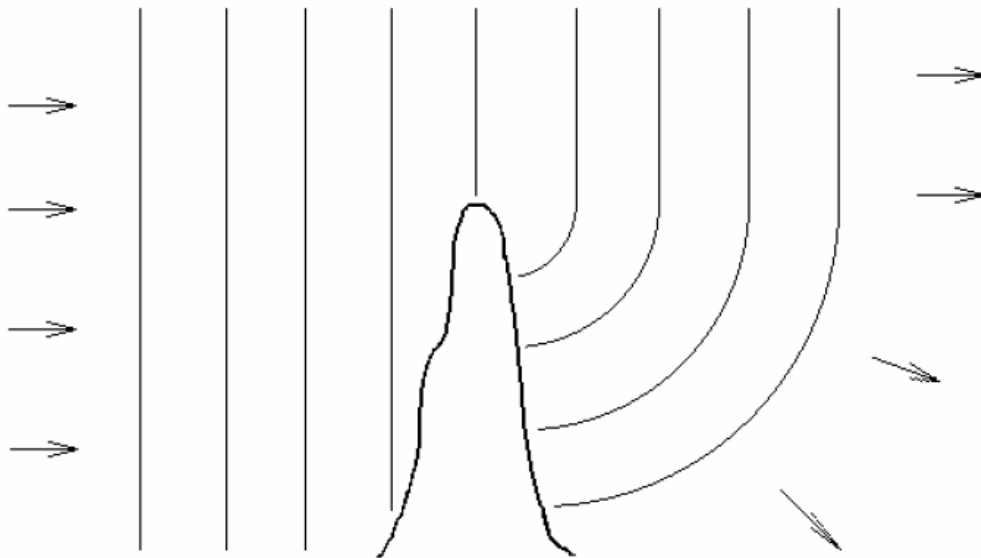
Skutkiem refrakcji jest przede wszystkim zakrzywienie trajektorii fal radiowych propagujących w atmosferze. Najczęściej, fale radiowe są odchylane w kierunku powierzchni Ziemi. Jednak przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych, fala radiowa może być zakrzywiana do góry i może się zdarzyć, że w ogóle nie dotrze do stacji odbiorczej.

Podczas projektowania danego systemu radiokomunikacyjnego, należy tak dobrać wysokości zawieszenia anten, aby nawet przy najbardziej niekorzystnej wartości współczynnika nasilenia refrakcji, fala radiowa mogła swobodnie propagować na trasie pomiędzy anteną nadawczą a odbiorczą. Jest to szczególnie istotne przy projektowaniu horyzontowych linii radiowych i systemów LMDS.



Dyfrakcja

Dyfrakcja dotyczy każdego rodzaju fal i polega na ugięciu fali na przeszkodzie o rozmiarze porównywalnym lub większym od długości fali.



W systemach radiokomunikacyjnych zastosowanie znalazła dyfrakcja fal radiowych na przeszkodach terenowych – wniesieniach, wysokich budynkach – znajdujących się na drodze propagacji fali. Dzięki dyfrakcji, fale radiowe docierają również do miejsc, które są zasłonięte przeszkodami terenowymi i nie istnieje

bezpośrednia widoczność między nimi a anteną nadawczą. Zjawisko dyfrakcji jest wykorzystywane w pozahoryzontowych liniach radiowych. Jest również uwzględniane przy obliczaniu zasięgów stacji bazowych sieci telefonii komórkowej oraz w amatorskiej łączności radiowej.

Rozproszenie troposferyczne

Atmosfera Ziemi jest w ciągłym ruchu. Jest to następstwem nierównomiernego ogrzewania jej przez Słońce i wymiany energii cieplnej między poszczególnymi jej warstwami a powierzchnią Ziemi. Na skutek mieszania się powietrza w atmosferze powstają obszary, w których wskaźnik refrakcji ma wyraźnie inną wartość niż w otaczającym je powietrzu.

Najczęściej zdarza się to blisko powierzchni Ziemi – tam ruchy powietrza są najbardziej intensywne.

Gdy fala radiowa trafia na obszar o wskaźniku refrakcji znacznie różniącym się od otoczenia, dochodzi do jej rozproszenia. Większość energii fali radiowej przechodzi przez ten obszar bez zmiany kierunku, część rozprasza się, a część odbija z powrotem w kierunku powierzchni Ziemi i może dotrzeć do anteny odbiorczej.

Rozproszenie troposferyczne

Zjawisko rozproszenia troposferycznego jest wykorzystywane w pozahoryzontowych liniach radiowych i łączności amatorskiej.

Istnieje również negatywna strona rozproszenia troposferycznego. W systemach satelitarnych, w łączności między stacją naziemną a satelitą geostacjonarnym dochodzi do tłumienia fali radiowej na skutek jej rozproszenia w troposferze.

Opad deszczu

Opad deszczu powoduje tłumienie fali radiowej na skutek jej absorpcji i rozproszenia na kroplach wody. Tłumienie to jest tym silniejsze im :

- intensywniejszy jest opad deszczu,
- dłuższy jest odcinek trasy radiowej, na której opad występuje,
- większa jest częstotliwość fali radiowej.

Ponadto, fala o polaryzacji horyzontalnej jest silniej tłumiona od fali o polaryzacji wertykalnej.

Gazy atmosferyczne

Tłumienie fali radiowej przez gazy atmosferyczne spowodowane jest w głównej mierze absorpcją fali przez tlen i parę wodną, a dla częstotliwości powyżej 100 GHz również w niewielkim stopniu przez azot. Tłumienie to dzielone jest na tłumienie powietrza suchego (działanie tlenu i azotu) i tłumienie pary wodnej.

W zastosowaniach radiokomunikacyjnych dla częstotliwości poniżej 10 GHz, zarówno tłumienie powietrza suchego jak i pary wodnej uznaje się za pomijalnie małe.

Chmury i mgły

Chmury i mgły są produktami kondensacji pary wodnej w atmosferze ziemskiej. Są to mikroskopijne kropelki wody, kryształki lodu lub ich mieszanina. Mgły powstają w warstwie przyziemnej atmosfery, zaś chmury mogą tworzyć się do wysokości kilkunastu kilometrów.

Tłumienie jednostkowe fali radiowej w chmurach lub we mgle trudno jednak wykorzystać w praktyce, z powodu braku pomiarów określających prawdopodobieństwo wystąpienia na danym obszarze mgieł lub chmur o określonej zawartości wody.

C.d.n.