


Politechnika Wrocławska

Podstawy Telekomunikacji

Modulacje oraz zwielokrotnianie kanału i dostępu

dr hab. inż. Piotr Słobodzian, prof. PWr

Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki
Wydział Elektroniki




Politechnika Wrocławska

Zawartość wykładu

- 1) Modulacja i detekcja
 - ❑ cel modulacji
 - ❑ modulacja i demodulacja optymalna
 - ❑ klasyfikacja modulacji, schematy modulacji
- 2) Zwielokrotnianie kanału i wielodostęp
 - ❑ w dziedzinie czasu
 - ❑ w dziedzinie częstotliwości
 - ❑ kodowe
 - ❑ przestrzenne

1/37




Politechnika Wrocławska

Zawartość wykładu

- 1) Modulacja i detekcja
 - ❑ cel modulacji
 - ❑ modulacja i demodulacja optymalna
 - ❑ klasyfikacja modulacji, schematy modulacji
- 2) Zwielokrotnianie kanału i wielodostęp
 - ❑ w dziedzinie czasu
 - ❑ w dziedzinie częstotliwości
 - ❑ kodowe
 - ❑ przestrzenne

2/37




Politechnika Wrocławska

Problemy komunikacji na odległość

Cztery główne problemy

- ❑ Ograniczenia techniczne
- ❑ Zakłócenia w łączy (mały stosunek S/N)
- ❑ Duża liczba usług (skończone zasoby widmowe)
- ❑ Duża liczba użytkowników (równoczesny dostęp)

3/37


Politechnika Wrocławska

Problemy komunikacji na odległość

Cztery główne problemy - przykład

❑ Ograniczenia techniczne - rozmiary anteny

Długość anteny: $L_a \cong \frac{\lambda}{2} [m]$,

przy czym $\lambda = \frac{300}{f [MHz]} [m]$ i f - częstotliwość transmisji

Dla $f = 1 \text{ kHz}$ mamy:


$$\lambda = \frac{300}{0.001 MHz} = \frac{300}{10^{-3}} = 300 \text{ km} \Rightarrow L_a = 150 \text{ km} \quad !!!$$

Dla urządzenia kieszonkowego założymy $L_a = 15 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 2 \cdot L_a = 0.3 \text{ m}$

Stąd, wymagana częstotliwość transmisji wynosi: $f = \frac{300}{\lambda} = \frac{300}{0.3} = 1 \text{ GHz} \quad !!!$

Potrzebne jest przesunięcie widma sygnału informacyjnego - MODULACJA.

4/37


Politechnika Wrocławska

Modulacja i detekcja

Cel modulacji

- ❑ Stworzenie technicznych możliwości efektywnej transmisji informacji na odległość
- ❑ Zmniejszenie **względnej** szerokości pasma częstotliwości transmitowanego sygnału
- ❑ Zwiększenie odporności przesyłanej informacji na zakłócenia
- ❑ Umożliwienie efektywniejszego wykorzystania widma elektromagnetycznego (zwielokrotnienie)

5/37

Politechnika Wrocławska

Modulacja i detekcja

Definicja modulacji

Modulacją nazywamy proces przekształcania sygnału pierwotnego (niosącego informację) w postać dogodną do transmisji poprzez kanał telekomunikacyjny.

Proces ten polega na uzależnieniu sygnału nośnego (jednego lub wielu) od sygnału pierwotnego (modulującego).

```

graph LR
    m_t["m(t)"] --> MODULATOR
    c_t["c(t)"] --> MODULATOR
    MODULATOR --> s_t["s(t)"]
  
```

6/37

Politechnika Wrocławska

Modulacja i detekcja

Definicja detekcji (demodulacji)

Detekcja (demodulacja) jest procesem odwrotnym do procesu modulacji i polega na odtworzeniu lub wydzieleniu sygnału pierwotnego (modulującego) z sygnału odebranego (zmodulowanego).

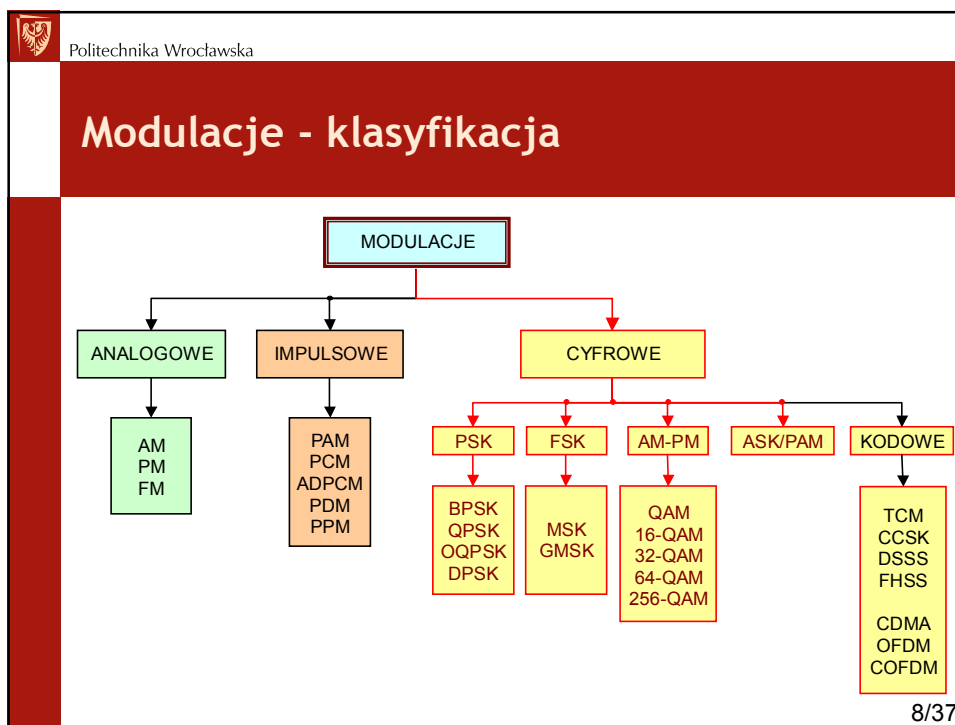
```

graph LR
    s_t["s(t)"] --> DEMULATOR
    DEMULATOR --> m_t["m(t)"]
  
```

Rodzaje detekcji:

- koherentna (synchroniczna)
- niekoherentna (niesynchroniczna)

7/37



Politechnika Wrocławska

Modulacje - klasyfikacja

Akronimy:

AM	-	Amplitude Modulation
PM/FM	-	Phase/Frequency Modulation
PAM	-	Pulse Amplitude Modulation
ADPCM	-	Adaptive Pulse Code Modulation
PCM	-	Pulse Code Modulation
PDM	-	Pulse Duration Modulation
PPM	-	Pulse Position Modulation
PAM	-	Pulse Amplitude Modulation
ASK	-	Amplitude Shift Keying Modulation
PSK	-	Phase Shift Keying Modulation
FSK	-	Frequency Shift Keying Modulation

9/37

Politechnika Wrocławska

Modulacje - klasyfikacja

Akronimy:

QAM	-	Quadrature Amplitude Modulation
MSK	-	Minimum Shift Keying Modulation
GMSK	-	Gaussian Minimum Shift Keying Modulation
BPSK	-	Binary Phase Shift Keying Modulation
QPSK	-	Quadrature (Quadrature) Shift Keying Modulation
OQPSK	-	Offset Quadrature Shift Keying Modulation
DPSK	-	Differential Phase Shift Keying Modulation
CCSK	-	Cyclic Code Shift Keying Modulation
TCM	-	Trellis Coded Modulation

Techniki związane z modulacjami:

COFDM	-	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDM	-	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DSSS	-	Direct Sequence Spread Spectrum Modulation
FHSS	-	Frequency Hopping Spread Spectrum Modulation

10/37

Politechnika Wrocławska

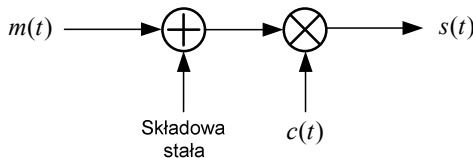
Modulacja analogowa - przykład

Idea modulacji amplitudy (AM)

Sygnał nośny:

$$c(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c \cdot t)$$

Sygnał zmodulowany:

$$s(t) = A \cdot [1 + k_a \cdot m(t)] \cdot \cos(2\pi f_c \cdot t)$$


k_a - czułość modulatora

$$|k_a \cdot m(t)| < 1$$

11/37

Politechnika Wrocławska

Modulacja analogowa - przykład

Idea modulacji amplitudy (AM) - opis w dziedzinie czasu

Sygnal pierwotny (modulujący)

Sygnal nośny

Sygnal zmodulowany

12/37

Politechnika Wrocławska

Modulacja cyfrowa - przykład

Idea kluczowania amplitudy (ASK) - generowanie symboli

Sygnal oryginalny

Próbkowanie sygnału

Kwantowanie i kodowanie

Ciąg cyfr binarnych

Ciąg symboli binarnych

13/37

Politechnika Wrocławska

Modulacja cyfrowa - przykład

Idea kluczowania amplitudy (ASK)

Modulator AM

Modulator ASK

14/37

Politechnika Wrocławska

Modulacja i detekcja optymalna

Demodulacja optymalna

Demodulacja optymalna to proces demodulacji, który:

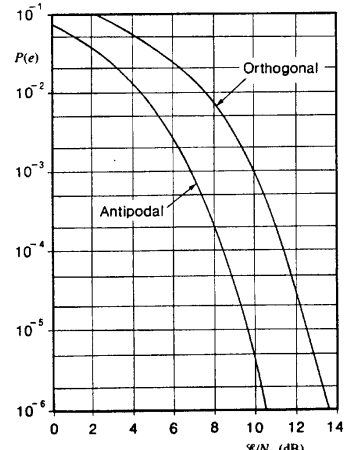
- maksymalizuje stosunek S/N na wyjściu w modulatora (w przypadku modulacji analogowych)
- gwarantuje minimalizację prawdopodobieństwa wystąpienia błędów (w przypadku modulacji cyfrowych).

15/37

Politechnika Wrocławska

Modulacja i detekcja optymalna

Demodulacja optymalna (modulacja cyfrowa)



Symbol

Cyfra binarna, element, bit

h cyfr binarnych

1' 2 h

$P(e)$ - symbolowa stopa błędów

$P_b(e)$ - bitowa (elementowa) stopa błędów

E/N_0 - stosunek energii sygnału do widmowej gęstości mocy szumu

16/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp

Idea zwielokrotniania

Zwielokrotnianie dotyczy ogólnie rozumianego widma elektromagnetycznego i polega na **wielokrotnym wykorzystaniu tego samego zakresu widma** (w obrębie tego samego medium)

Częstotliwość + Czas + Przestrzeń

||

Widmo elektromagnetyczne

17/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp

Idea zwielokrotniania

Czas x Częstotliwość x Przestrzeń

1 kanał

Przestrzeń

Czas

Częstotliwość

p_1

f_1

18/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp

Idea zwielokrotniania

Czas x **Częstotliwość** x Przestrzeń

4 kanały

Przestrzeń

Czas

Częstotliwość

p_1

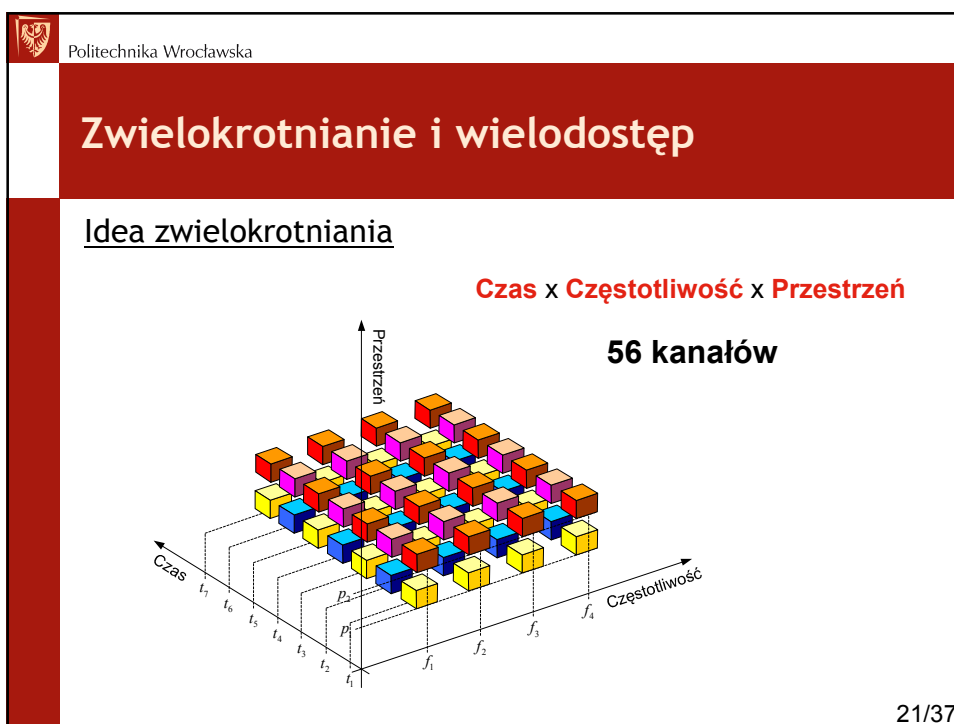
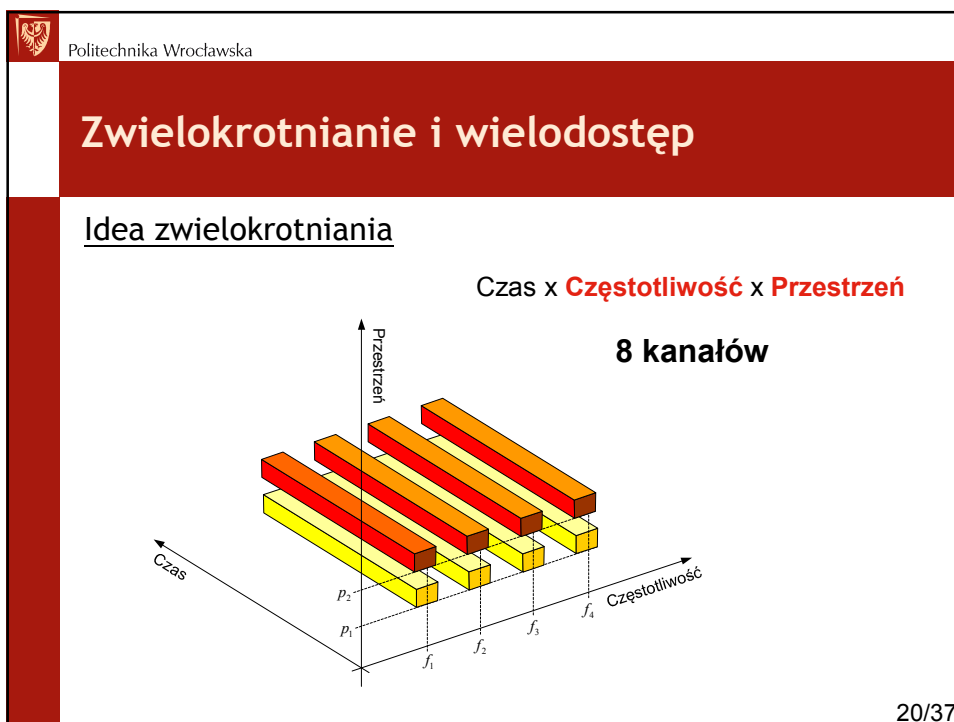
f_1

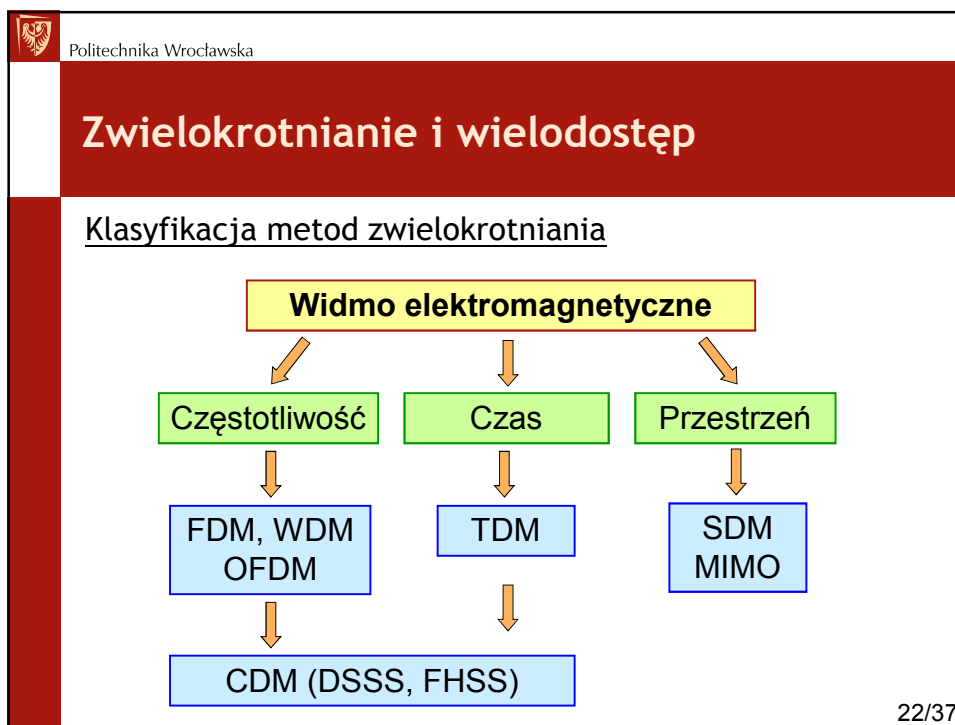
f_2

f_3

f_4

19/37





Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp

Definicje

Zwielokrotnianie (...DM, ...Domain Multiplexing) – inaczej multipleksowanie, jest procesem podczas którego analogowe lub cyfrowe sygnały informacyjne są łączone w jeden zespolony sygnał w celu transmisji poprzez współdzielone (pojedyncze) medium.

Zastosowanie: np. łącze od stacji bazowej do abonentów

Wielodostęp (...DMA, ...Domain Multiple Access) – jest metodą dostępu użytkownika do współdzielonego medium, technicznie realizowaną za pomocą odpowiedniej techniki multipleksowania.

Zastosowanie: np. dostęp abonentów do stacji bazowej

23/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (FDM)

Zasada zwielokrotniania w dziedzinie częstotliwości

24/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (FDM)

Zalety i wady techniki FDM

Zalety:

- ❑ transmisja prowadzona cały czas w tym samym paśmie częstotliwości, przez co jest to najprostsza metoda zwielokrotniania (wielodostępu)

Wady:

- ❑ trudności związane ze stabilnością częstotliwości nośnej
- ❑ kosztowne filtry o stromych zboczach do separacji częstotliwościowej kanałów (użytkowników)
- ❑ występowanie pasm ochronnych pomiędzy wydzielonymi kanałami (spadek współczynnika wykorzystania pasma)
- ❑ wąskopasmowe kanały sprzyjają powstawaniu zaników wielodrogowych

25/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (TDM)

Zasada zwielokrotniania w dziedzinie czasu

The diagram shows three input signals (orange, blue, and green) being sampled at time intervals t_1, t_2, t_3 . These samples are then combined into a single multiplexed signal. This signal is then processed by a 'Modulator' block, which also receives a synchronization signal from a 'Synchronizacja' block and a carrier frequency f_0 .

26/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (TDM)

Zalety i wady techniki TDM

Zalety:

- ☐ umożliwia współdzielenie jednego kanału częstotliwości
- ☐ pozwala na dynamiczny przydział zasobów (łącza)
- ☐ ułatwia realizację technik komutacji

Wady:

- ☐ potrzeba zapewnienia precyzyjnej synchronizacji (korekcja opóźnień w kanale transmisyjnym - nadawanie/odbiór)
- ☐ wzrost komplikacji układów korekcji amplitudowo-fazowej przy transmisji strumieni danych o dużych szybkościach
- ☐ impulsowy charakter sygnału - potencjalne źródło interferencji

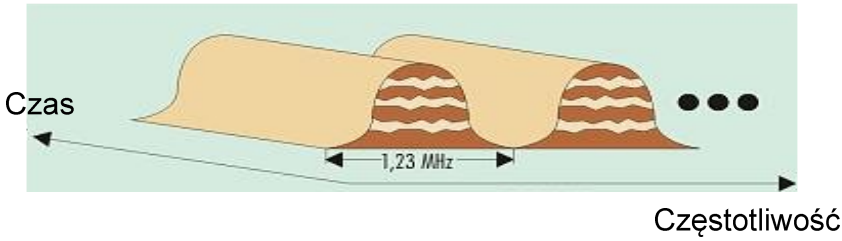
27/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (CDM)

Zasada zwielokrotniania w dziedzinie kodowej

Kolejny wymiar – dziedzina kodowa



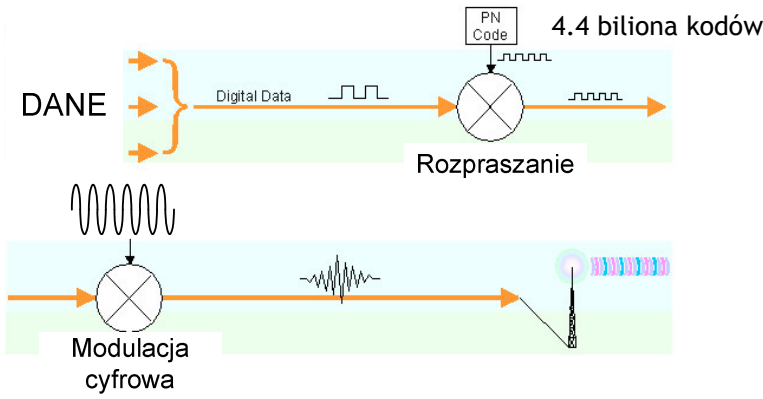
Realizacja techniki odbywa się poprzez rozpraszanie widma sygnału informacyjnego (Spread Spectrum - DSSS i FHSS).
Pierwsza demonstracja techniki – Viterbi, 1989r.

28/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (CDM)

Technika rozpraszania widma (kody pseudolosowe)



PN Code 4.4 biliona kodów

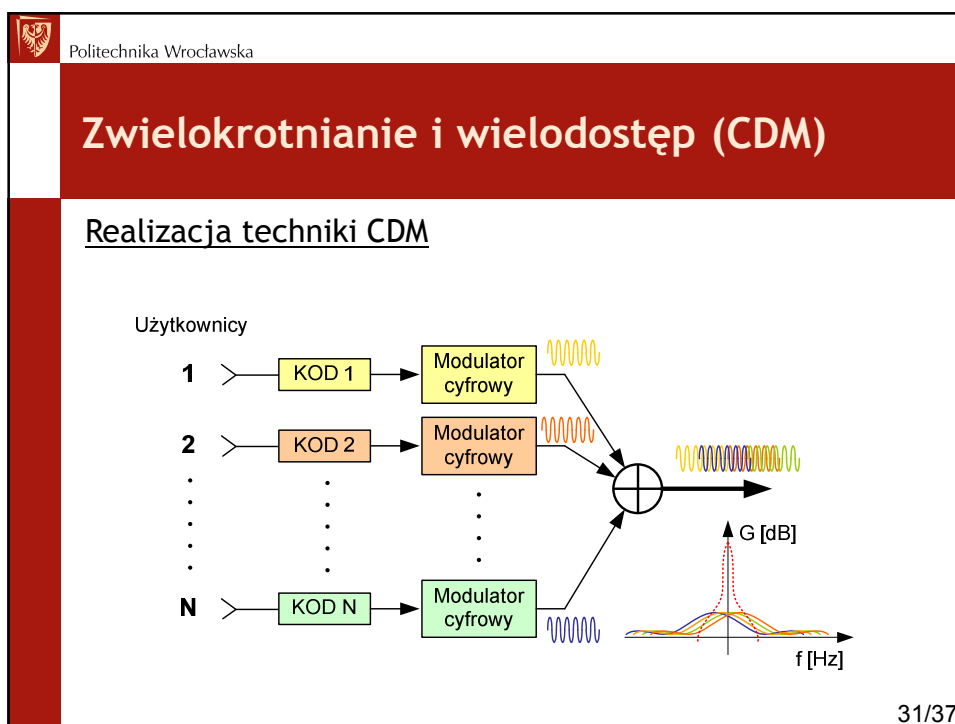
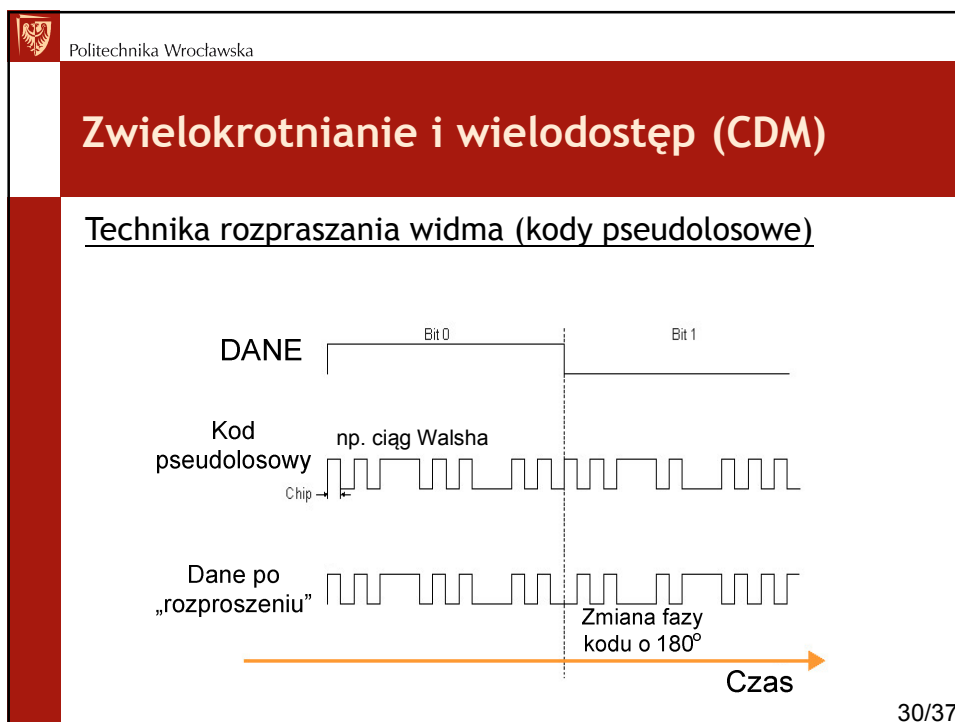
DANE

Digital Data

Rozpraszanie

Modulacja cyfrowa

29/37



Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (CDM)

Zalety techniki CDM

Zalety:

- ❑ poufność i bezpieczeństwo przesyłanych danych
- ❑ sygnały o rozproszonym widmie są niezwykle trudne do wykrycia
- ❑ sygnały są znacznie bardziej odporne na wszelkiego rodzaju zakłócenia i interferencje, zarówno naturalne jak i będące wynikiem działalności człowieka
- ❑ wysoka jakość transmisji oraz relatywnie duża pojemność, od kilku do kilkunastu razy większa od pojemności systemów opartych na technice FDMA albo TDMA

Wady:

- ❑ konieczność nieustannego sterowania poziomem mocy emitowanej ze wszystkich nadajników (np. stacji bazowej i terminali)

32/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (SDM)

Zasada zwielokrotniania przestrzennego



Obsługa kilkuset tysięcy abonentów w tym samym miejscu.

Czas i częstotliwość mogą być zwielokrotnione, ale w ograniczonym zakresie.

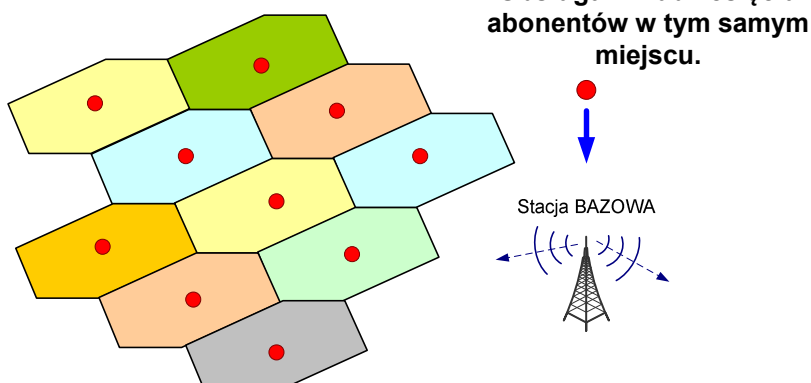
ZBYT MAŁO ZASOBÓW (kanałów) !!!

33/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (SDM)

Zasada zwielokrotniania przestrzennego



Obsługa kilkadziesiąt abonentów w tym samym miejscu.

Stacja BAZOWA

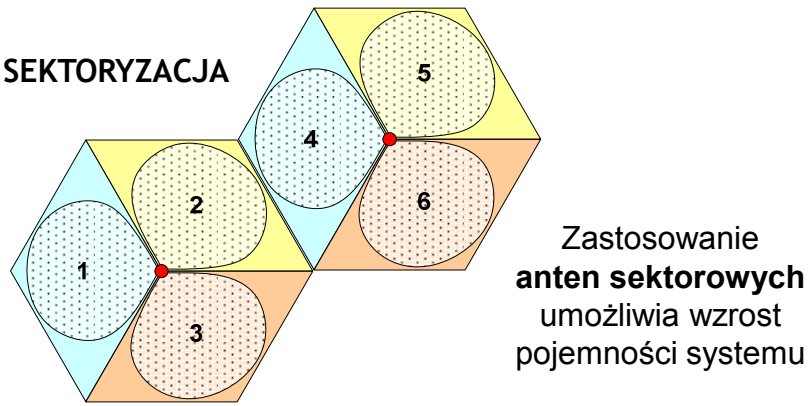
34/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (SDM)

Zasada zwielokrotniania przestrzennego

SEKTORYZACJA



Zastosowanie anten sektorowych umożliwia wzrost pojemności systemu

35/37

Politechnika Wrocławska

Zwielokrotnianie i wielodostęp (SDM)

Zasada zwiększenia pojemności informacyjnej kanału

Technika MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) bazuje na przestrzennym zwielokrotnieniu kanału transmisyjnego (najlepiej wielodrogowego) na skutek **dekorelacji sygnałów** przesyłanych wzdłuż różnych tras propagacyjnych

36/37

Politechnika Wrocławska

Podstawy Telekomunikacji

KONIEC

Dziękuję za uwagę!

37/37