



Przegląd systemów bezprzewodowych – wymagania i wyzwania

© Paweł Kułakowski

Przegląd systemów bezprzewodowych

- Systemy telefonii komórkowej
- Lokalne sieci bezprzewodowe WLAN
- Systemy rozgłoszeniowe
- Sieci trunkingowe
- Telefonia bezprzewodowa
- Linie radiowe
- Abonencki dostęp bezprzewodowy
- Systemy satelitarne

Systemy komórkowe

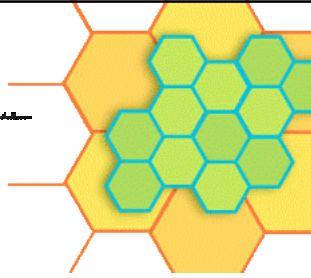
... patrz osobny przedmiot.

... stanowią największe wyzwanie dla inżynierów spośród wszystkich sieci bezprzewodowych.

1. systemy masowe, o bardzo dużej liczbie użytkowników
2. ograniczone pasmo częstotliwości



Konieczna jest jednoczesna obsługa wielu abonentów przy ograniczonych zasobach częstotliwościowych.



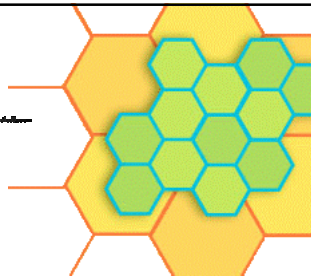
Systemy komórkowe

Stosowane lub rozważane rozwiązania:

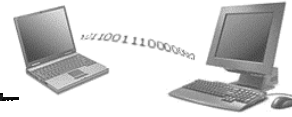
- wielokrotne wykorzystywanie tego samego pasma częstotliwości dzięki podziałowi obsługiwanego obszaru na komórki
- techniki wielodostępu TDMA/FDMA/CDMA
- kompresja sygnału głosu
- anteny inteligentne, *interference cancellation*
- nadawanie/odbiór przy użyciu wielu anten
- *cross layer optimization*

Inne trudności:

- dyspersja sygnału radiowego
- mobilność terminali -> konieczność przełączania rozmów, zmiany zachodzące w kanale radiowym
- ograniczona moc baterii terminali ruchomych



Bezprzewodowe sieci lokalne



- architektura sieci:
 - > z punktem dostępowym (szczególny przypadek sieci komórkowych)
 - > *ad hoc* - bez infrastruktury, terminale łączą się bezpośrednio ze sobą
- ograniczona mobilność użytkowników
 - > brak przełączeń
 - > quasi-stacjonarność kanału radiowego
- zasięg sieci: głównie wewnątrz budynków, max. kilkaset metrów
- większe rozmiary terminali niż w przypadku telefonów komórkowych
 - > mocniejsze baterie
 - > możliwość zamontowania większej liczby anten
- dominujący standard: IEEE 802.11 (WiFi) w wersjach a/b/g/n i innych
- pasmo ISM (2.4 GHz) i częstotliwości powyżej 5 GHz
- sieci PAN (m.in. Bluetooth) i BAN

Telewizja i radiofonia – sieci rozgłoszeniowe



- transmisja sygnału tylko w jednym kierunku
- ta sama informacja transmitowana jest do wszystkich użytkowników w sposób ciągły, często przy użyciu wielu różnych nadajników
- nieograniczona liczba użytkowników
- szyfrowanie sygnału, autoryzacja

Standardy:

- telewizja: DVB-T (Terrestrial), DVB-S (Satellite), **DVB-H** (Handheld)
- radio: DAB (*Digital Audio Broadcast*), DRM (*Digital Radio Mondiale*)

Sieci trunkingowe



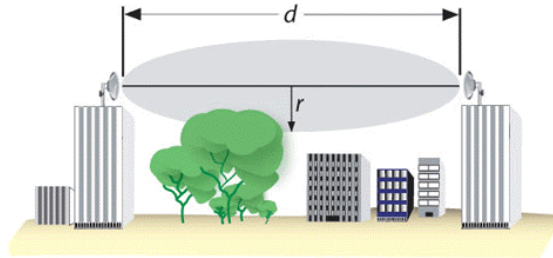
- wariant sieci komórkowej bez dostępu do telekomunikacyjnych sieci publicznych
- dodatkowe możliwości połączeń:
 - > rozmowy grupowe
 - > rozmowy o wyższym priorytecie
 - > połączenia przez stację przekaźnikową
- rozmowy w trybie semi-duplex (duosimpleks)
- użytkownicy: policja, służby ratownicze, sieci taksówek
- popularny europejski standard TETRA -> 380-400 MHz

Telefonia bezprzewodowa



- prosta struktura sieci:
 - stacja bazowa + jeden lub kilku abonentów
- bezprzewodowe wersje central PABX
- zasięg sieci: wewnątrz budynków, max. 300 m
- europejski standard DECT -> pasmo 1880-1900 MHz

Linie radiowe



- element sieci szkieletowych transmisji danych i telefonii komórkowej
- anteny stacjonarne, o dużych zyskach kierunkowych
- konieczna bezpośrednia widoczność LoS

Abonencki dostęp bezprzewodowy



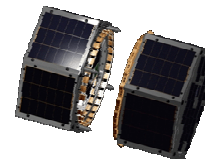
- zastąpienie sieci dostępowej („ostatniej mili”) łączem radiowym
- duże przepustowości (sieci szerokopasmowe)
 - kilkanaście - kilkadziesiąt Mb/s
- stacjonarność nadajnika i odbiornika, warunki LoS
- zasięg do kilkadziesiątu kilometrów
- standard 802.16 WiMAX

Lokalizacja i nawigacja



- globalne systemy nawigacji: Navstar, Glonass, Galileo
- wyznaczanie pozycji w sieci GSM i UMTS (wykorzystanie parametru Timing Advance)
- systemy lokalne, działające wewnątrz budynków:
 - > szkielet systemu: stacjonarne nadajniki radiowe rozsyłające informację o swojej pozycji
 - > wyznaczenie pozycji poprzez pomiar:
 - mocy odbieranego sygnału
 - czasu propagacji sygnału radiowego lub akustycznego

Telekomunikacja satelitarna



Systemy telefonii komórkowej ← Iridium, Globalstar

Lokalne sieci bezprzewodowe WLAN

Systemy rozgłoszeniowe ← DVB-S, Sirius, XM

Sieci trunkingowe

Telefonia bezprzewodowa

Linie radiowe

Abonencki dostęp bezprzewodowy ← VSAT, Inmarsat

Lokalizacja i nawigacja ← Navstar, Galileo



Przyszłość łączości bezprzewodowej

The future, according to some scientists,
will be exactly like the past, only far more expensive.

John Sladek

Rozwój sieci bezprzewodowych



Obecny trend: unifikacji sieci i usług:

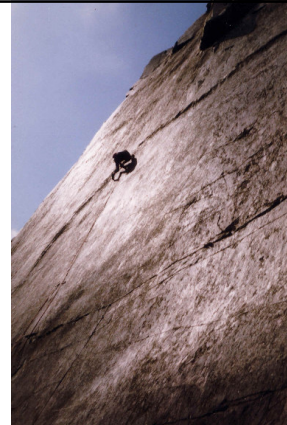
- Sieci komórkowe nowych generacji:
B3G (*Beyond Third Generation*), LTE (*Long Term Evolution*)
- działania w ramach 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*)
- Lokalne mobilne sieci bezprzewodowe
(*mobile IP networks, mobile ad-hoc networks, vehicular ad-hoc networks*)
- *Hybrid broadcast and cellular networks*, m.in. standard DVB-H

Inne koncepcje:

- Sieci sensorowe (*Wireless Sensor Networks*)
- systemy małych czujników zbierających dane o otoczeniu
i przekazujących je drogą radiową do centrum kontrolnego
- Systemy UWB (*Ultra WideBand*)
- transmisja danych na niewielkie odległości (pojedyncze metry),
wewnątrz budynków, w szerokim paśmie częstotliwości (3.1 – 10.6 GHz)

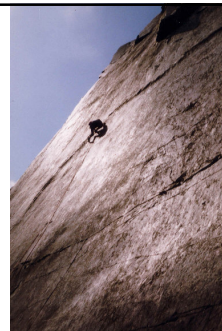
Wyzwania stojące przed łącznością bezprzewodową

1. Efektywne wykorzystanie dostępnego pasma częstotliwości
2. Propagacja wielodrogowa
(osobny wykład)
3. Mobilność użytkowników
4. Ograniczona moc terminali ruchomych
5. Względy ekonomiczne i socjologiczne

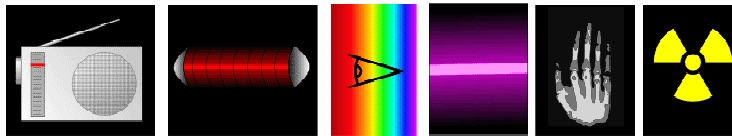


Wyzwania I

Efektywne wykorzystanie
dostępnego pasma częstotliwości



Fale elektromagnetyczne



- fale radiowe: do $6 \cdot 10^{11}$ Hz
- promieniowanie podczerwone: $6 \cdot 10^{11} - 3.75 \cdot 10^{14}$ Hz
- światło widzialne: $3.75 \cdot 10^{14} - 7.5 \cdot 10^{14}$ Hz
- promieniowanie ultrafioletowe UV: $7.5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$ Hz
- promienie Roentgena X: $3 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$ Hz
- promienie gamma γ : powyżej $5 \cdot 10^{19}$ Hz

Zakresy fal radiowych

Zakres częstotliwości	Zakres długości fal	Nazwa zakresu
3 – 30 kHz	10 – 100 km	myriametrowe VLF
30 – 300 kHz	1 – 10 km	kilometrowe LF
300 – 3000 kHz	100 – 1000 m	hektometrowe MF
3 – 30 MHz	10 – 100 m	dekametrowe HF
30 – 300 MHz	1 – 10 m	metrowe VHF
300 – 3000 MHz	10 – 100 cm	decymetrowe UHF
3 – 30 GHz	1 – 10 cm	centymetrowe SHF
30 – 300 GHz	1 – 10 mm	milimetrowe EHF

Ogólny przydział częstotliwości radiowych

- poniżej 100 MHz: CB radio, pagery, analogowa telefonia bezprzewodowa, radionawigacja i łączność morską
- 50 – 800 MHz: telewizja i radiofonia
- 400 – 500 MHz, 800 – 1000 MHz, 1.8 – 2 GHz: sieci komórkowe
- 2.4 – 2.5 GHz: pasmo ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), cyfrowa telefonia bezprzewodowa, sieci WLAN i WPAN oraz ... kuchenki mikrofalowe
- 3.3 – 3.8 GHz, 5.7 – 5.8 GHz: przewidywane zakresy dla abonenckiego dostępu bezprzewodowego
- 4.8 – 5.8 GHz: sieci WLAN
- 11 – 15 GHz: telewizja satelitarna

Szczegółowych przydziałów dokonują ITU (WRC),
CEPT, FCC i odpowiednie organy państwowe

Sposoby wykorzystania pasma częstotliwości

1. Pasma dzierżawione
2. Pasma niekomercyjne, dedykowane dla danego systemu łączności
3. Pasma przeznaczone do swobodnego użytku
4. Systemy UWB (*Ultra WideBand*)
5. *Cognitive Radio*

Efektywne wykorzystanie dostępnego pasma

Reglamentacja pasma częstotliwości (ITU, WRC)

Niskie przepustowości systemów radiowych

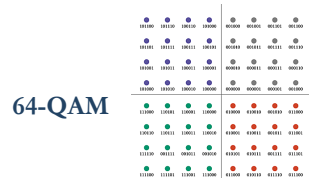
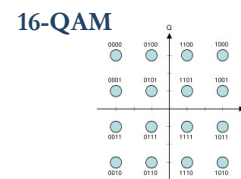
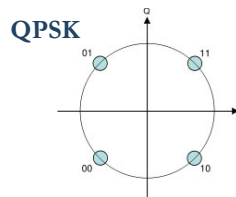
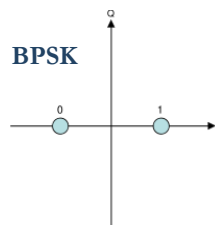
Cel: Osiągnięcie wysokich przepustowości mimo ograniczonego pasma częstotliwości.

Współczynnik wykorzystania pasma:

$$\eta = \frac{\text{przepustowość}}{\text{pasma częstotliwości}} \quad [\text{bit/s/Hz}]$$

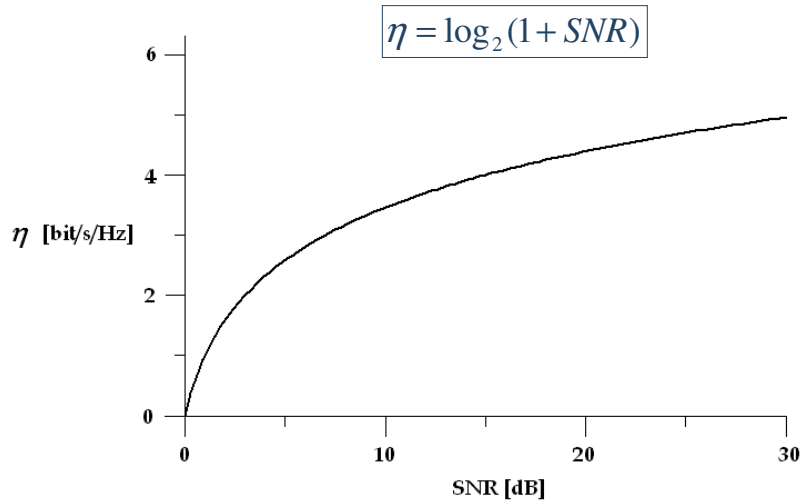
Efektywne wykorzystanie dostępnego pasma

Rozwiązanie nr. 1: Stosowanie modulacji wysokopoziomowych:



Efektywne wykorzystanie dostępnego pasma

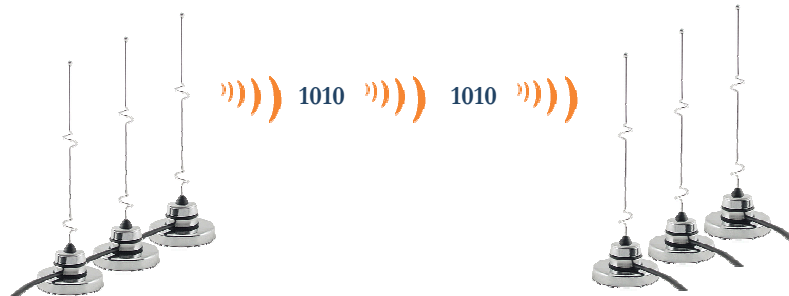
Ograniczenie – klasyczny wzór Shannona :



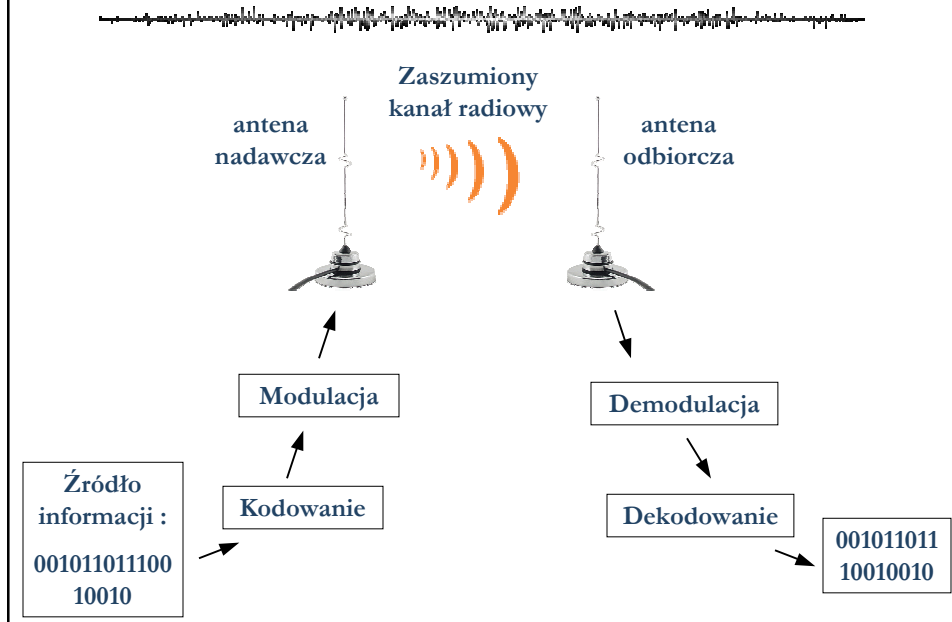
Efektywne wykorzystanie dostępnego pasma

Rozwiązanie nr. 2:

Systemy wieloantennowe *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)*



Tradycyjny system radiokomunikacyjny



Tradycyjny system radiokomunikacyjny

System (1,1):

$$y(f) = h(f) \cdot x(f) + n$$

gdzie:

f – częstotliwość sygnału radiowego

$y(f)$ – sygnał wyjściowy

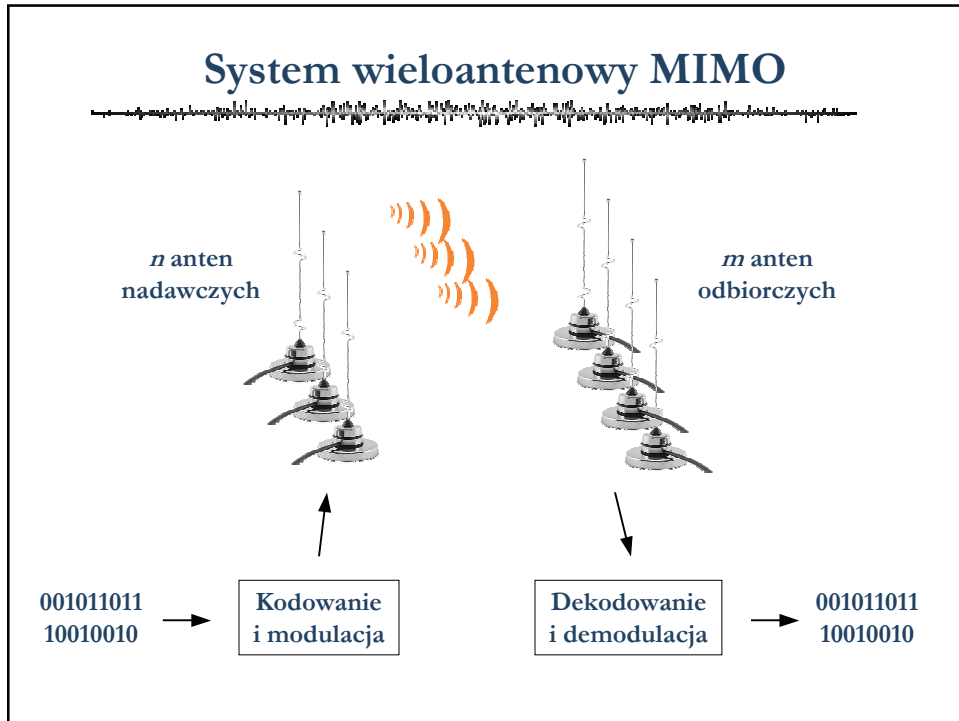
$h(f)$ – transmitancja kanału radiowego

$x(f)$ – sygnał wejściowy

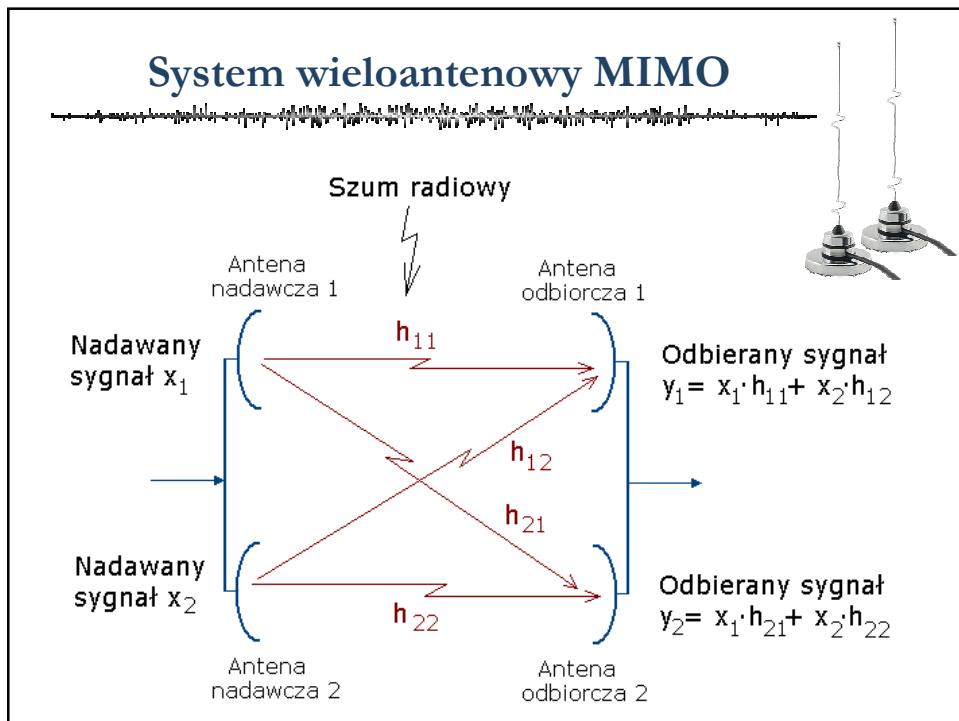
n – poziom szumu



System wieloantenowy MIMO



System wieloantenowy MIMO



Systemy MIMO

System wieloantenny (n,m) :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & & h_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & \cdots & h_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_m \end{bmatrix}$$

y_i – i -ty sygnał na wyjściu kanału radiowego

h_{ij} – transmitancja kanału radiowego między j -tą anteną nadawczą a i -tą anteną odbiorczą

x_i – i -ty sygnał na wejściu kanału radiowego

n_i – i -ta składowa szumu radiowego



Systemy MIMO

System (m,m) :

$$Y(f) = H_{m \times m}(f) \cdot X(f) + N$$

$$f = \text{const}$$



$$Y = H_{m \times m} \cdot X + N$$

$$X \approx H^{-1} \cdot Y$$

W praktyce, stosowane są dekodery dedykowane dla systemów MIMO, takie jak:

- Minimum Mean Square Error,
- Zero Forcing,
- Sphere decoder.



Systemy MIMO

Pierwotne założenia dotyczące systemów MIMO:

1. Transmitancje poszczególnych kanałów nie zmieniają się albo zmieniają się powoli.
2. Wąskie pasmo częstotliwości \Rightarrow charakterystyki (transmitancje) kanałów są niezależne od częstotliwości.
3. Charakterystyki kanałów są znane w odbiorniku.
4. Transmisja odbywa się w środowisku z dużą ilością obiektów odbijających i rozpraszających nadawane sygnały.
5. Odległości pomiędzy poszczególnymi antenami nadawczymi i odbiorczymi są równe co najmniej $\lambda/2$.
6. Szum jest typu AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

Obecnie, systemy MIMO projektowane są do funkcjonowania również bez tych założeń.



Przepustowość systemu MIMO

System (1,1) (Shannon):

$$\eta = \log_2(1 + SNR) \quad [\text{bit/s/Hz}]$$

System (n,m) (Foschini, Gans):

$$\eta = \log_2 \det \left(\mathbf{I}_m + \frac{SNR}{n} \mathbf{H} \mathbf{H}^* \right) \quad [\text{bit/s/Hz}]$$

SNR – średni stosunek mocy sygnału do mocy szumu na wejściu odbiornika

\mathbf{I}_m – macierz jednostkowa $m \times m$

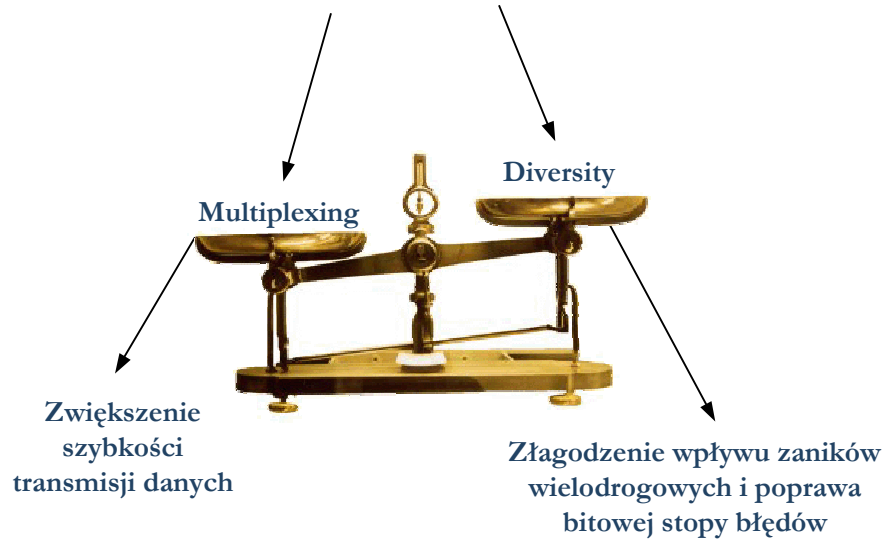
\mathbf{H} – macierz transmitancji kanału radiowego

\mathbf{H}^* – macierz sprzężona i transponowana względem \mathbf{H}

Współczynnik wykorzystania pasma może wzrosnąć nawet $[\min(n,m)]$ -krotnie



Kierunki rozwoju systemów MIMO

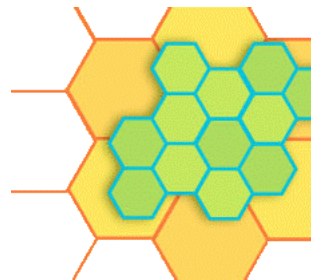


Wielokrotne wykorzystanie pasma częstotliwości

Przypadek I

Pasmo dzierżawione – np. sieci komórkowe

- podział obsługiwanego obszaru na podobszary – komórki
- wielokrotny przydział tych samych kanałów częstotliwościowych
- rezultat: kontrolowane zakłócenia interferencyjne wspólnokanałowe



Przypadek II

Pasmo przeznaczone do swobodnego użytku – np. ISM

- zmienne, nieprzewidywalne zakłócenia interferencyjne
- wymagane zabezpieczenia, np. rozpraszanie widma, wybór lub skakanie po kanałach częstotliwościowych

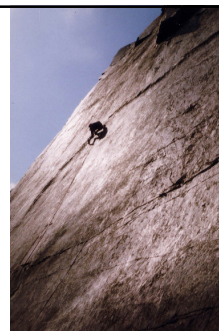
Wielodostęp do kanału radiowego

Techniki wielodostępu do kanału radiowego:

- podział w dziedzinie czasu (TDMA) lub częstotliwości (FDMA)
- techniki z rozproszonym widmem: CDMA
- transmisja na wielu nośnych, ortogonalnych względem siebie (OFDM)
- *orthogonal beamforming*

(osobny wykład)

Wyzwania II



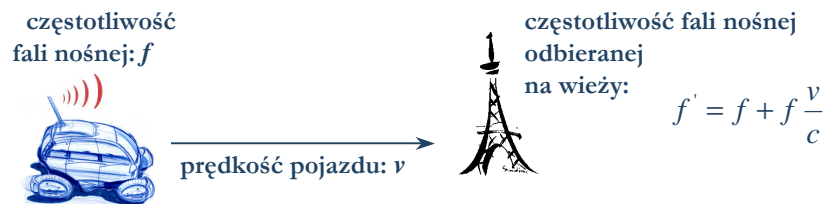
Mobilność użytkowników

Mobilność użytkowników

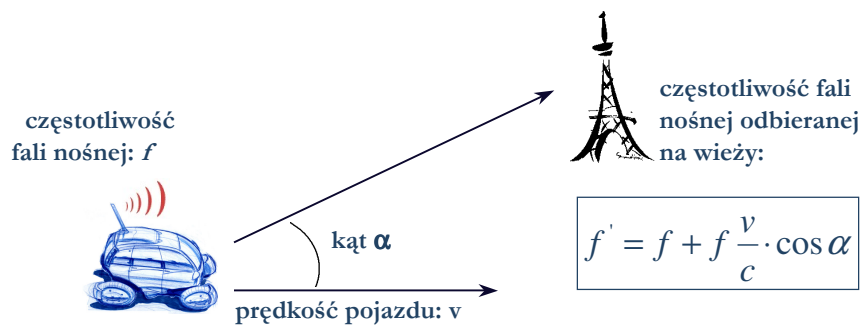
Konsekwencje:

- konieczność przełączeń (*handovers*)
- zmiany transmitancji kanału radiowego
 - konieczność aktualizacji informacji o kanale radiowym
- zmiana częstotliwości – efekt Dopplera

Efekt Dopplera:



Efekt Dopplera – ogólny przypadek

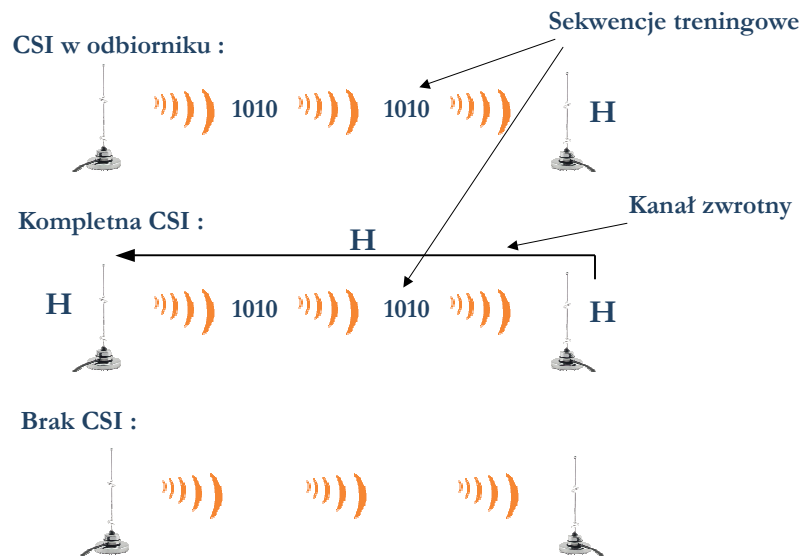


Przykład:

- częstotliwość fali nośnej: 900 MHz
- prędkość nadjeżdżającego samochodu: 360 km/h
- poprawka częstotliwości: 300 Hz

Informacja o kanale radiowym

Channel State Information (CSI)



Informacja o kanale radiowym w odbiorniku

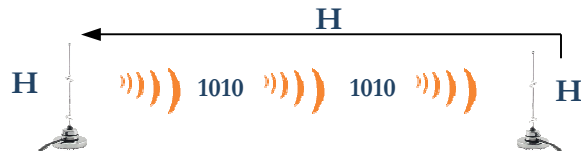


- przypadek najbardziej powszechny
- przykłady zastosowań:
 - działanie korektorów (*equalizers*) w sieci GSM
 - dekodowanie sygnałów, szczególnie w systemach MIMO
 - kształtowanie wiązek anten odbiorczych

Problemy występujące przy stosowaniu sekwencji treningowych:

- spadek współczynnika wykorzystania pasma
- szum zniekształcający sekwencje treningowe
- aktualność sekwencji treningowych w szybkozmiennym kanale radiowym

Kompletna CSI



Wykorzystanie CSI w nadajniku:

- modulacja adaptacyjna
- kształtowanie wiązek anten nadawczych
- system MIMO: sterowanie mocą poszczególnych anten nadawczych, dopasowywanie transmitowanych sygnałów do kanału radiowego
- *puncturing*

Wady zastosowania transmisji z kompletną CSI:

- konieczność rezerwacji kanału zwrotnego
- aktualność CSI po przesłaniu jej do nadajnika (systemy FDD)

Systemy bez CSI (*blind detection*)

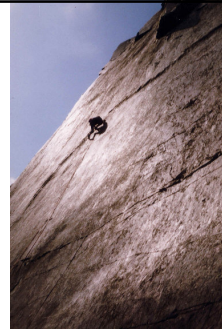


Wykorzystanie własności statystycznych transmitowanego sygnału (np. skończona liczba symboli w konstelacji, stałość obwiedni) do jednoczesnej estymacji kanału radiowego i dekodowania danych

Wady:

- długi czas inicjacji algorytmu
- duża złożoność obliczeniowa

Wyzwania III



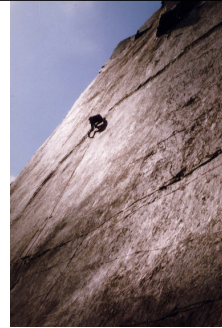
Ograniczona moc terminali ruchomych

Ograniczona moc terminali ruchomych



- wzmacniacze mocy w nadajnikach o wysokiej sprawności (klasa C lub F zamiast klas A, B i AB) \Rightarrow konieczność stosowania modulacji odpornych na zniekształcenia nieliniowe
- układy elektroniczne z logiką CMOS, zamiast np. szybszych tranzystorów ECL
- wysokie wymagania na czułość układów odbiorczych stacji BTS – rzędu: -100 dBm
- algorytmy sterowania mocą terminali ruchomych
- wyłączanie układów nadawczych gdy abonent milczy
- tryby pracy: *stand by* oraz *sleep*

Wyzwania IV



Względy ekonomiczne i socjologiczne

Względy ekonomiczne i socjologiczne

- nawet świetne rozwiązania techniczne rzadko odnoszą sukces (np. wideofony, standard UMTS)
- cechy techniczne sprzedawanego produktu (jakość dźwięku, szybkość transmisji danych, pokrycie terenu przez danego operatora) często przegrywają z kolorem wyświetlacza i kształtem telefonu
- kraje, gdzie kablowe sieci telekomunikacyjne są słabo rozwinięte stanowią świetny rynek dla systemów radiowych. Jednocześnie jednak, te kraje mają zazwyczaj słabą sytuację ekonomiczną.
- sieci radiowe będą się lepiej rozwijać w krajach charakteryzujących się:
 - małą gęstością zaludnienia
 - trudnymi warunkami terenowymi
 - dużą mobilnością mieszkańców

Względy ekonomiczne i socjologiczne

Wskazania dotyczące projektowania urządzeń radiowych przeznaczonych dla masowego odbiorcy:

- minimalizowanie liczby elementów analogowych
- integracja urządzenia najlepiej do pojedynczego chipu, ewentualnie dwóch (część analogowa i cyfrowa)
- wielokrotne używanie tych samych układów elektronicznych
- unikanie elementów, które wymagają ręcznego dostrajania



Dziękuję za uwagę