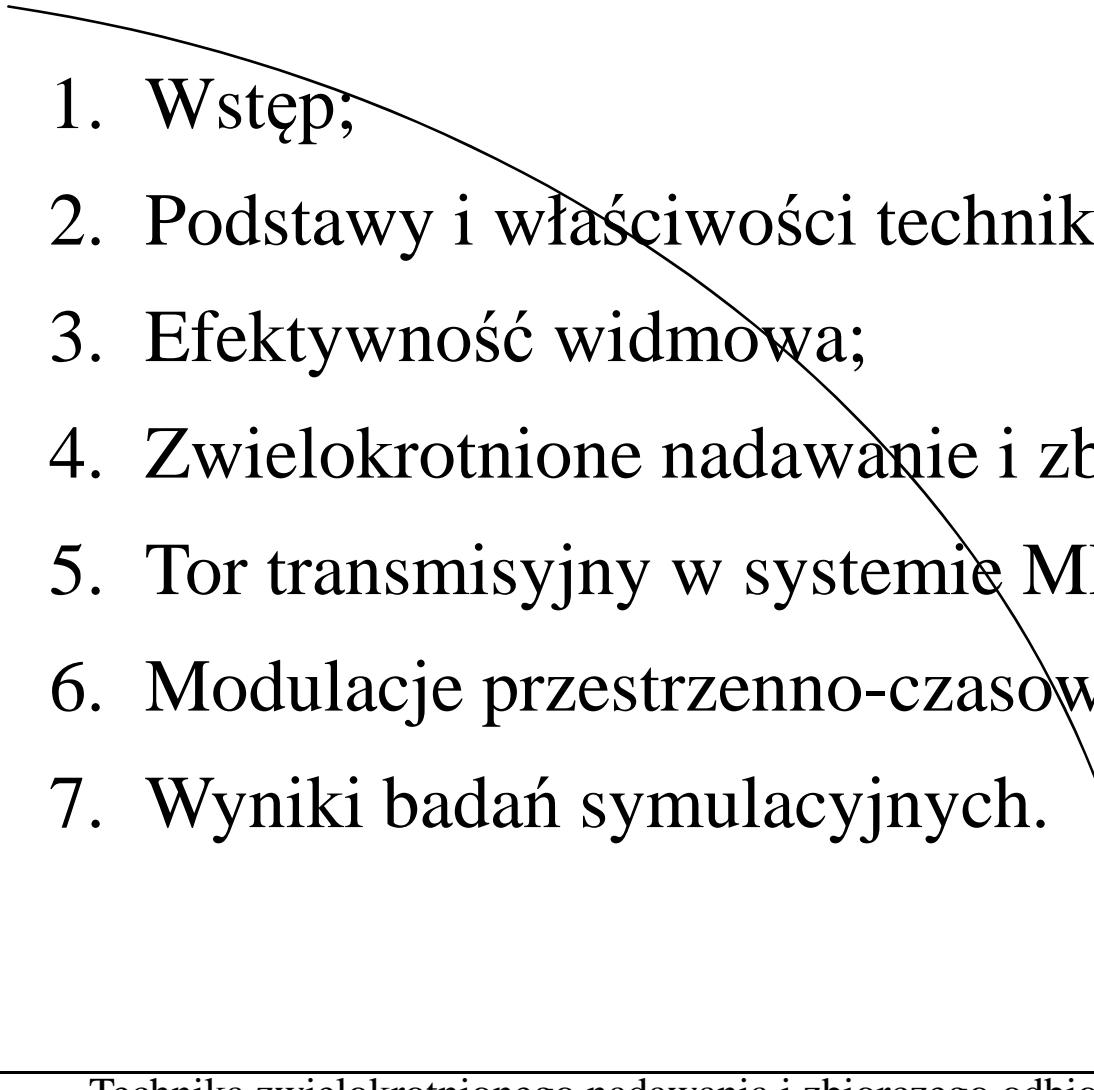


Technika zwielenkrotnionego nadawania i zbiorczego odbioru w telekomunikacji bezprzewodowej

**Wyższa Szkoła Informatyki
Stosowanej i Zarządzania**

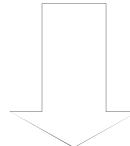
Plan prezentacji

- 
1. Wstęp;
 2. Podstawy i właściwości techniki wieloantenowej;
 3. Efektywność widmowa;
 4. Zwielokrotnione nadawanie i zbiorczy odbiór;
 5. Tor transmisyjny w systemie MIMO;
 6. Modulacje przestrzenno-czasowe;
 7. Wyniki badań symulacyjnych.

Wstęp

Bezprzewodowe systemy łączności stanowią:

1. Wyspecjalizowaną formę łącza radiokomunikacji ruchomej;
2. Nieodłączny element infrastruktury telekomunikacyjnej;
3. Zapotrzebowanie użytkowników ruchomych;
4. Ograniczoność w dostępie do medium transmisyjnego w postaci widma „elm”



Uwarunkowania dotyczące jednoczesnego i możliwie szerokiego dostępu do zasobów widmowych i maksymalnej liczby użytkowników zgłaszających zapotrzebowanie na określone usługi telekomunikacyjne.

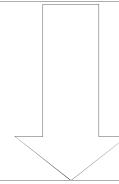
implikacja



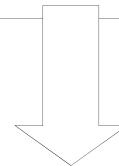
Wzrost efektywności widmowej łącza radiokomunikacyjnego

Wstęp

Wzrost efektywności widmowej łącza radiokomunikacyjnego



Wzrost pojemności bezprzewodowego systemu telekomunikacyjnego



Realizacja bardziej zaawansowanych usług telekomunikacyjnych związanych z większą przepływnością łączy radiokomunikacyjnych

Wstęp – techniki zwielokrotnienia

Technika zwielokrotnionego nadawania (*Transmit Diversity*) i zbiorczego odbioru (*Receive Diversity*) – konieczność stosowania w łączu radiokomunikacyjnym specjalnych rozwiązań wieloantenowych.

Rozwiązania podstawowe:

1. Nadajnik i odbiornik z pojedynczą anteną, tzn. pojedyncze nadawanie sygnału radiowego poprzez jedną antenę **SI** (*Single Input*);
2. Nadajnik i odbiornik z pojedynczą anteną, tzn. pojedynczy odbiór sygnału radiowego poprzez jedną antenę **SO** (*Single Output*);
3. Powyższe łącze określone jest mianem **SISO**.

Wstęp – techniki zwielokrotnienia

Rozwiązania wieloantenowe:

1. Nadajnik i odbiornik z rozwiązaniem wieloantenowym, tzn. zwielokrotnienie nadawania sygnału radiowego poprzez wiele anten **MI** (*Multiple Input*);
2. Nadajnik i odbiornik z rozwiązaniem wieloantenowym, tzn. zbiorczy odbiór sygnału radiowego poprzez kilka anten **MO** (*Multiple Output*);
3. Powyższe łącze określane jest mianem **MIMO** (*zwielokrotnione nadawanie i zbiorczy odbiór*).

Rozwiązania hybrydowe - pośrednie:

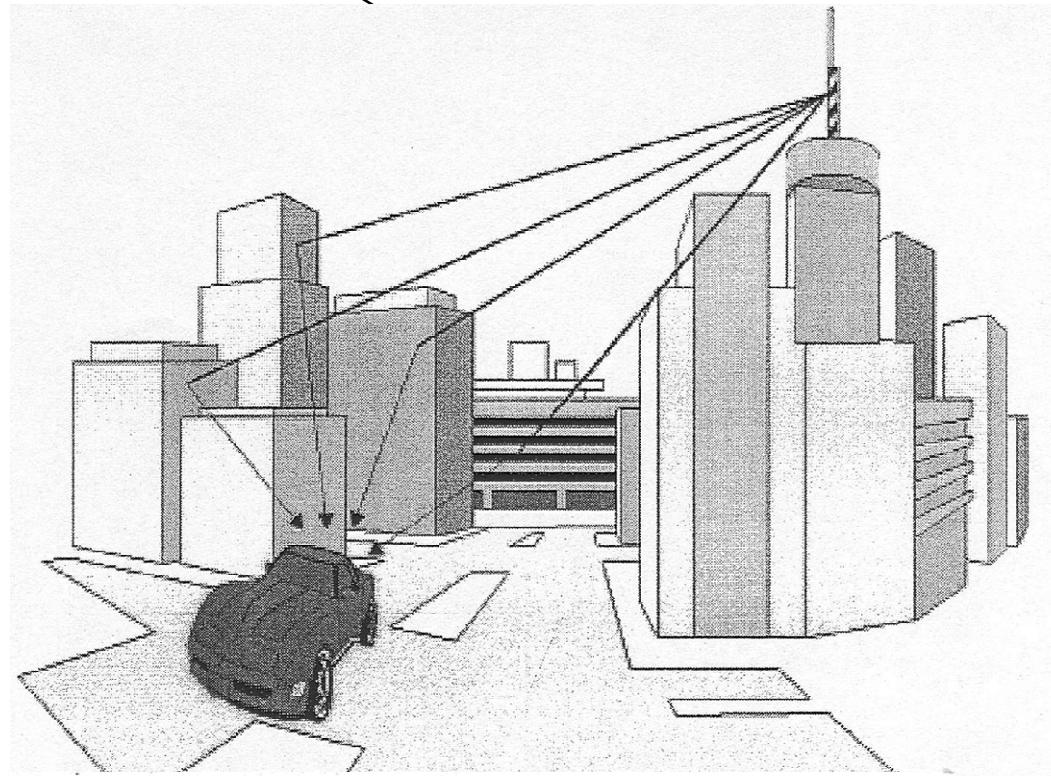
1. Nadajnik i odbiornik z rozwiązaniem wieloantenowym, tzn. pojedyncze nadawanie i zbiorczy odbiór **SIMO** (*Single Input Multiple Output*);
2. Nadajnik i odbiornik z rozwiązaniem wieloantenowym, tzn. zwielokrotnione nadawanie i pojedynczy odbiór **MISO** (*Multiple Input Single Output*);

Podstawy i własności techniki wieloantenowej

Technika wieloantenowa – polega na zapewnieniu przez łączę radiokomunikacyjne typu **MIMO** znacznego wzrostu efektywności widmowej w stosunku do łącza klasycznego **SISO**.

1. Efekt „wielodrogowości” (zróżnicowanie przestrzenne różnych dróg propagacji sygnału w łączu radiowym);
2. Podejście implikuje zastosowanie systemów wieloantenowych;
3. Strumień danych generowany przez pojedynczego użytkownika jest demultiplesowany na kilka podstrumieni, nadawanych i odbieranych przez poszczególne anteny w systemach wieloantenowych.

Propagacja - wielodrogowość



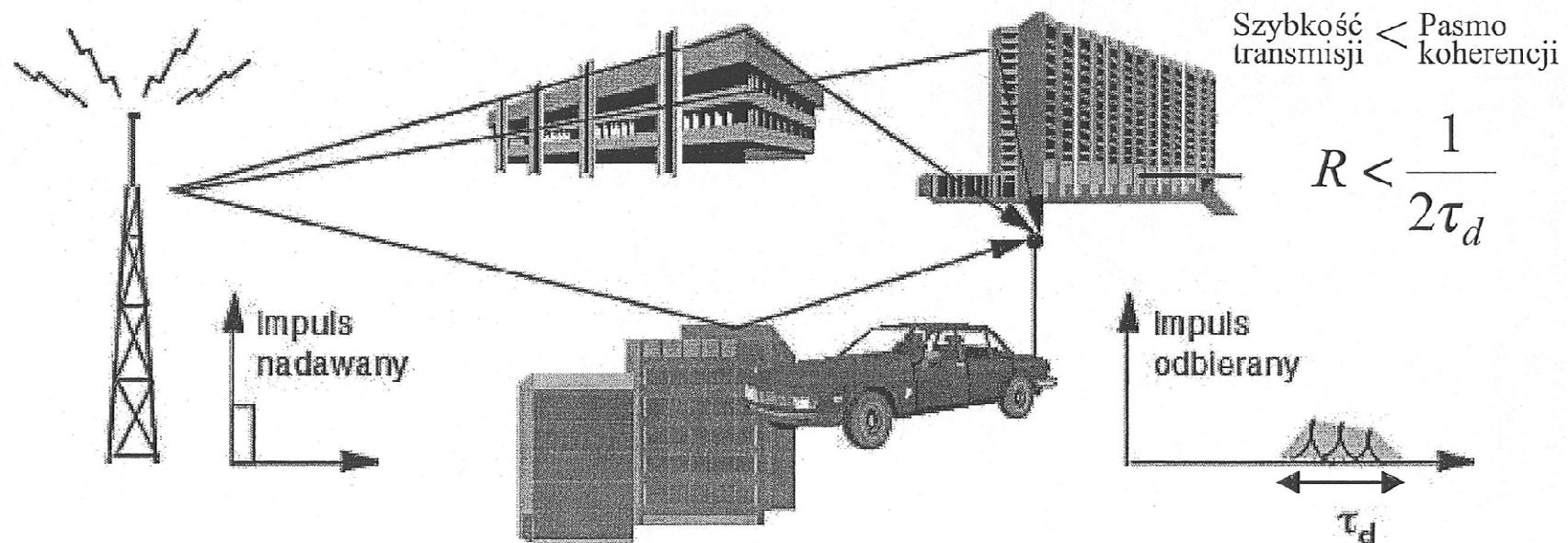
Fala radiowa dociera do odbiornika różnymi drogami co utrudnia odbiór informacji; podstawowe utrudnienia:

- zaniki sygnału
- nakładanie się sygnałów - tzw. interferencje międzysymbolowe
- radiotelefon jest w ruchu - efekt Dopplera; szczególnie w samochodzie.

Propagacja wielodrogowa

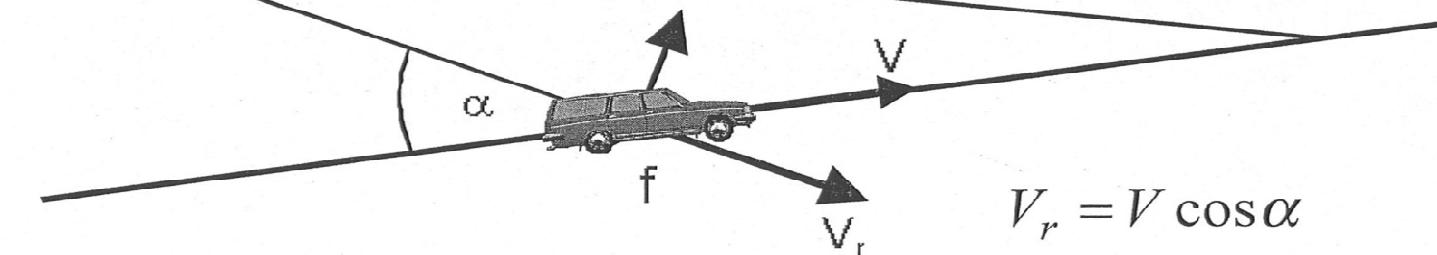
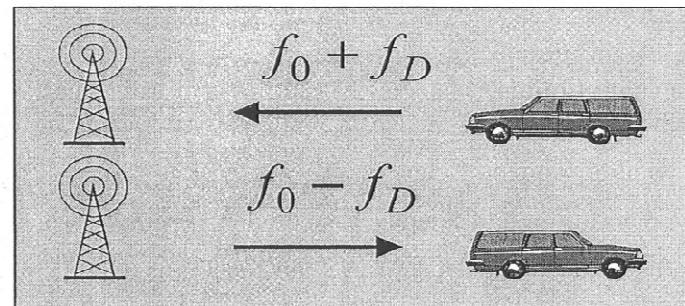
rozkład opóźnień (*delay spread*)

- Sygnał dociera do odbiornika wieloma drogami o różnym czasie propagacji
- Rozciągnięcie/rozmycie sygnału może powodować interferencje międzysymbolowe, co ogranicza maksymalną szybkość transmisji
- Typowe wartości τ_d [μs]: teren otwarty $< 0,2$, podmiejski = 0,5, miejski = 3



Efekt Dopplera - zakłócenia

Efekt Dopplera

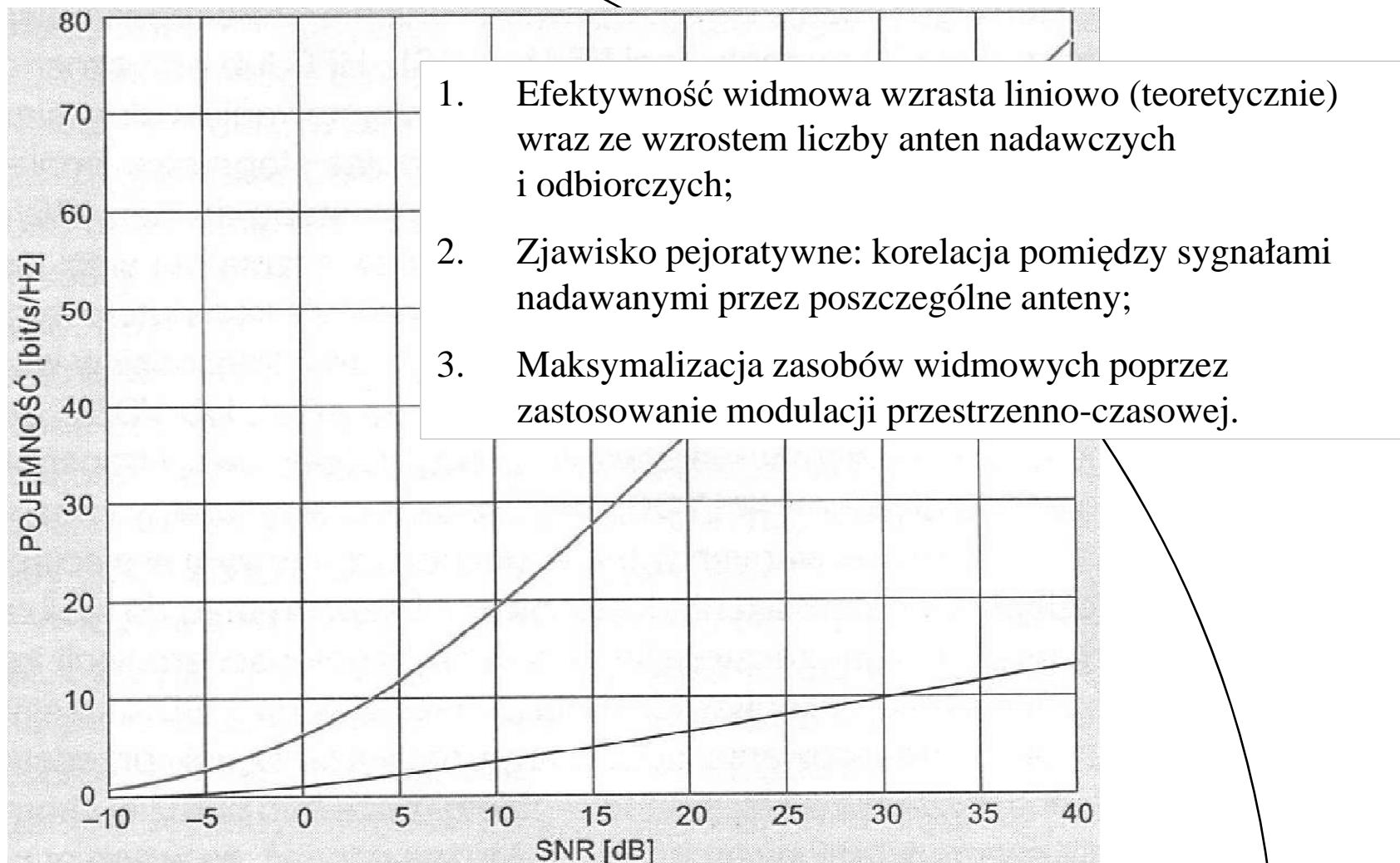


$$f = \frac{c - V_r}{\lambda} = \frac{c}{\lambda} - \frac{V \cos \alpha}{\lambda} = f_0 - \frac{V}{\lambda} \cos \alpha$$

Przesunięcie Dopplera:

$$f_D = \frac{V}{\lambda} \cos \alpha \quad \omega_D = 2\pi f_D = \beta V \cos \alpha$$

Efektywność widmowa

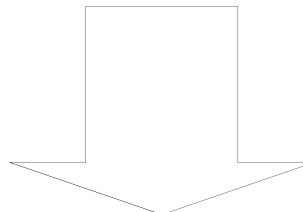


Porównanie efektywności widmowej łącza radiokomunikacyjnego typu MIMO (linia kolorowa) oraz SISO (linia czarna)

Zwielokrotnione nadawanie i zbiorczy odbiór

UWARUNKOWANIA:

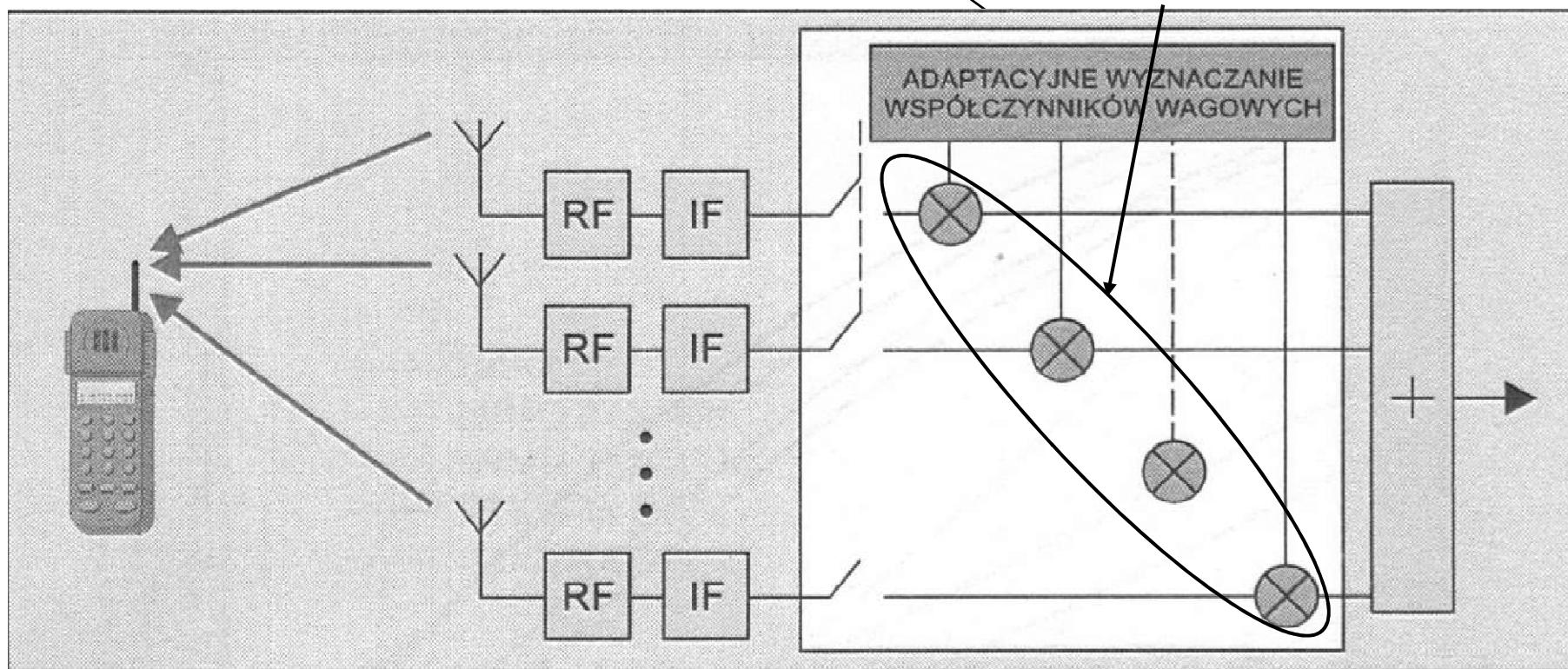
1. Trudność w zastosowaniu wielu anten w terminalu osobistym użytkownika;
2. Zestawy kilku anten stosuje się w stacji bazowej;



1. Rozwiązanie typu MISO (zwielokrotnione nadawanie przez dwie anteny ze stacji bazowej i pojedynczy odbiór przez jedną antenę w terminalu użytkownika);
2. Rozwiązanie typu SIMO (pojedyncze nadawanie przez jedną antenę w terminalu użytkownika oraz zbiorczy odbiór przy użyciu dwóch anten w stacji bazowej).

Zwielokrotnione nadawanie i zbiorczy odbiór

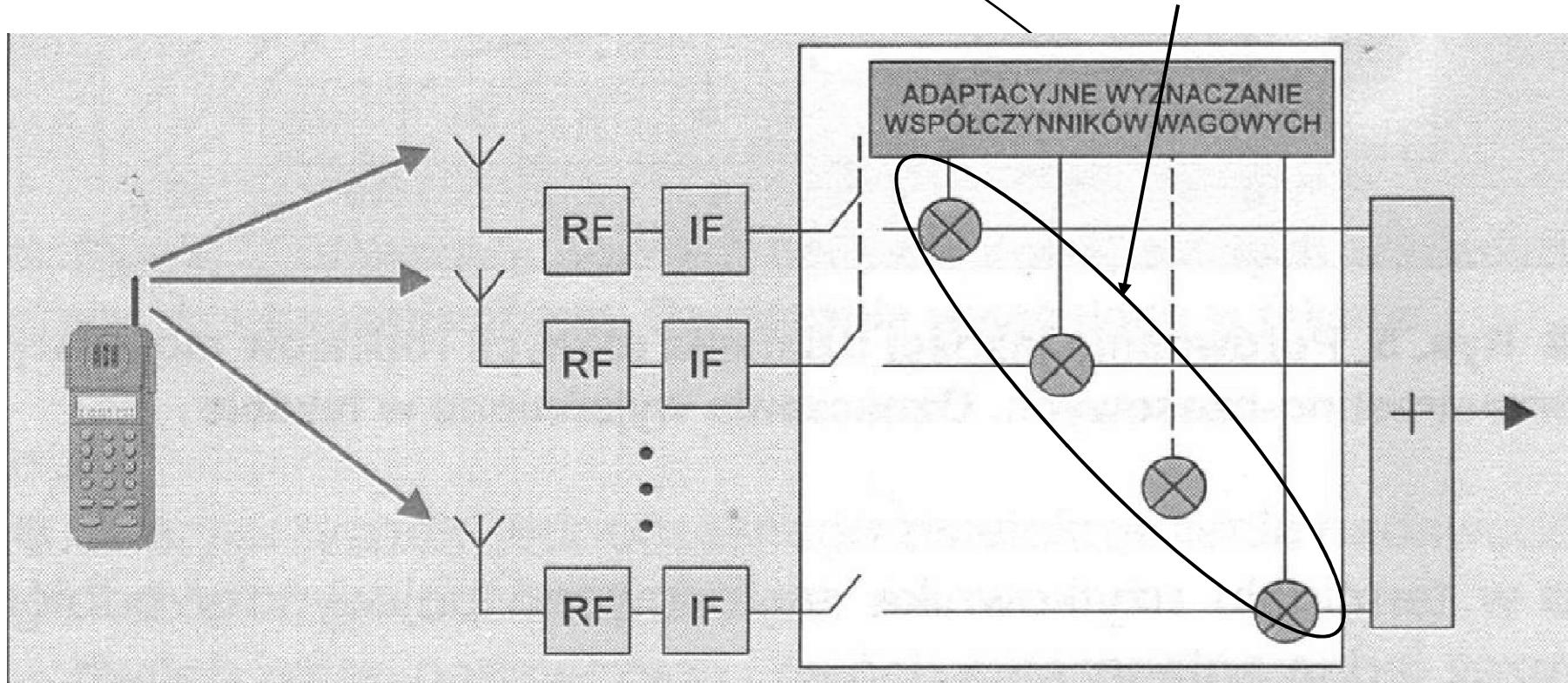
Adaptacyjny dobór współczynników
wagowych dla sygnałów nadawanych
z poszczególnych anten



Schemat funkcjonalny łącza radiokomunikacyjnego typu MISO, przy
transmisji od stacji bazowej do terminalu użytkownika.

Zwielokrotnione nadawanie i zbiorczy odbiór

Adaptacyjny dobór współczynników wagowych dla sygnału sumacyjnego odbieranego w stacji bazowej

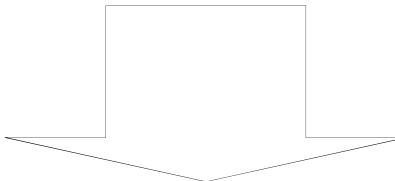


Schemat funkcjonalny łącza radiokomunikacyjnego typu SIMO, przy transmisji od terminalu użytkownika do stacji bazowej.

Dobór współczynników wagowych

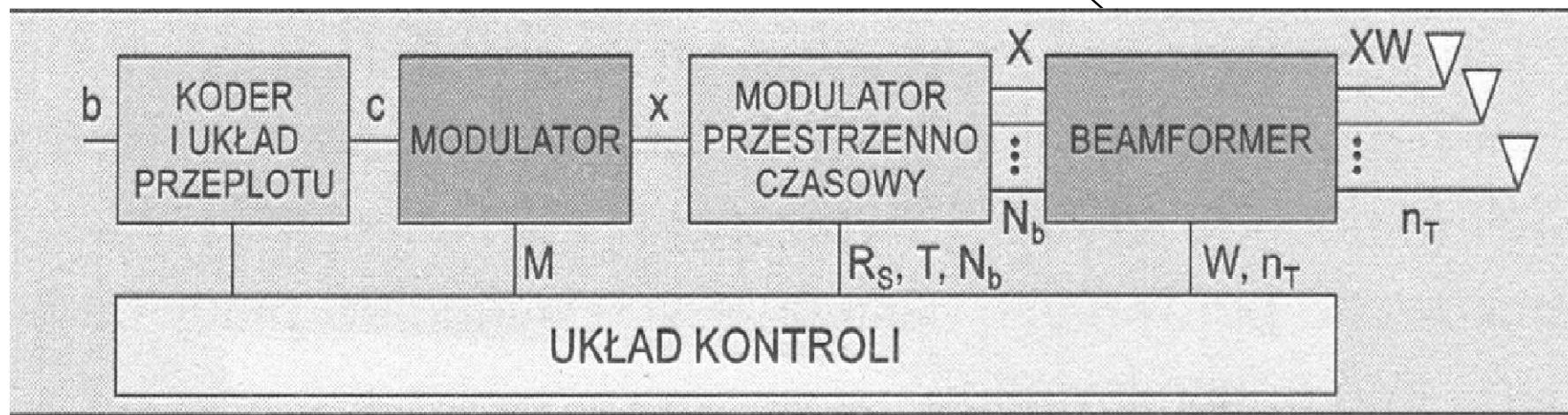
Kryterium doboru współczynników wagowych:

1. Poprawa warunków transmisyjnych sygnału użytecznego;
2. Uzyskanie w sygnale sumacyjnym efektu w postaci:
 - maksymalnej wartości odbieranego sygnału użytecznego, tzn. kryterium **MRC** (*Maximum Ratio Combining*);
 - maksymalnej redukcji wpływu sygnałów zakłócających, tzn. kryterium **IRC** (*Interference Rejection Combining*).



Wzrost efektywności działania systemu radiokomunikacyjnego, poprawa odporności na zakłócenia i zaniki odbieranego sygnału, zwiększenia zasięgu działania stacji bazowej w określonych warunkach eksploatacyjnych.

Tor transmisyjny w systemie MIMO



Układ blokowy części nadawczej toru transmisyjnego
w technice **MIMO**.

Tor transmisyjny w systemie MIMO

Budowa toru transmisyjnego części nadawczej w technice MIMO:

1. **Koder z układem przeplotu:** dokonuje kodowania „ b ” bitów informacyjnych w wektory kodowe „ c ”;
2. **Modulator:** mapowanie bitów (z M -bitów zostaje utworzony strumień symboli w postaci zespolonego wektora x);
3. **Modulator przestrzenno-czasowy:** mapowanie sekwencji $R_s T$ w macierz X o wymiarach (TxN_b) . Następuje przygotowanie transmisji przez N_b wiązek promieniowania układu antenowego, przy użyciu T ciągów rozpraszających (transmisyjnych zasobów ortogonalnych);
4. **Beamformer:** opisany macierzą W , w którym utworzonych zostaje N_b wiązek promieniowania, którymi wysterowuje się każdą z n_T anten (układów antenowych) w zestawie antenowym.

Modulacje przestrzenno-czasowe

Sposób zapisu sekwencji symboli na wyjściu demodulatora przestrzenno-czasowego w postaci macierzy \mathbf{X} o wymiarach (TxN_b) wynika z przyjętego sposobu modulowania przestrzenno-czasowego tych sekwencji, co decyduje o formie układowej i sposobie jego działania. Warunkuje to jakość pracy toru transmisyjnego i zamierzone efekty transmisji MIMO.

Rodzaje modulacji przestrzenno-czasowych:

1. Modulacja **STTD-OTD** (*Space Time Transmit Diversity with Orthogonal Transmit Diversity*);
2. Modulacja PSK-rank;
3. Modulacja cykliczna;
4. Modulacja warstwowa;
5. Modulacja typu ABBA.

Modulacje przestrzenno- czasowe

Format zapisu macierzy \mathbf{X} wybranych modulacji przestrzenno-czasowych dla następujących założeń systemowych:

1. Szybkość symbolowa $R_S = 1$ bit/symbol;
2. Liczba anten w zespole antenowym $n_T = 4$;
3. $T = 4$.

Modulacja STTD-OTD

Modulacja **STTD-OTD** (*modulacja ortogonalna z suboptimalnym różnicowaniem*;
postać Alamoutiego;

x_1, x_2 – wektory strumieni symboli na
wejściu modulatora.

$$X(x_1, x_2) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix}$$

Aby spełnić założenia systemowe, należy połączyć dwie kopie powyższej macierzy w macierz blokowo-diagonalną:

$$X_{\text{STTD-OTD}} = \begin{bmatrix} X_A(x_1, x_2) & 0_{2 \times 2} \\ 0_{2 \times 2} & X_B(x_3, x_4) \end{bmatrix}$$

$X_A(x_1, x_2)$ – podmacierz dla wektorów strumieni symboli x_1 oraz x_2 .

$X_B(x_3, x_4)$ – podmacierz dla wektorów strumieni symboli x_3 oraz x_4 .

$0_{2 \times 2}$ – podmacierz zer o wymiarach (2x2).

Modulacja **PSK-rank**

Modulacja **PSK-rank** mapuje kolejne wektory strumieni symboli x_1, x_2, x_3, x_4 dostarczane z modulatora PSK. Dla przyjętych założeń systemowych macierz tej modulacji ma postać pełnego rzędu.

$$X_{\text{PSK-rank}} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_2 & x_3 & x_4 & x_1 + x_2 \\ x_3 & x_4 & x_1 + x_2 & x_2 + x_3 \\ x_4 & x_1 + x_2 & x_2 + x_3 & x_3 + x_4 \end{bmatrix}$$

Modulacja cykliczna

Modulacja **cykliczna** mapuje kolejne wektory strumieni symboli x_1, x_2, x_3, x_4 . Dla przyjętych założeń systemowych macierz tej modulacji ma następującą postać.

$$X_{cykl} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_4 & x_1 & x_2 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & x_2 \\ x_2 & x_3 & x_4 & x_1 \end{bmatrix}$$

Modulacja warstwowa

Modulacja **warstwowa** (opracowana przez **Tirkkonena**) mapuje kolejne wektory strumieni symboli x_1, x_2, x_3, x_4 . Dla przyjętych założeń systemowych macierz tej modulacji wyraża się następująco.

$$X_{3+1} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ -x_2^* & x_1^* & -x_4^* & -x_3 \\ -x_3^* & x_4 & x_1 & x_2 \\ -x_4 & x_3^* & -x_2^* & x_1 \end{bmatrix}$$

Modulacja ABBA

Modulacja **ABBA** (której nazwa odzwierciedla rozmieszczenie podmacierzy X_A oraz X_B w wynikowej macierzy X_{ABBA}) Dla przyjętych założeń systemowych macierz tej modulacji wyraża się następująco.

$$X_{ABBA} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ -x_2^* & x_1^* & -x_4^* & -x_3^* \\ x_3 & x_4 & x_1 & x_2 \\ -x_4^* & x_3^* & -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A & X_B \\ X_B & X_A \end{bmatrix}$$

$$X_A = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix}$$

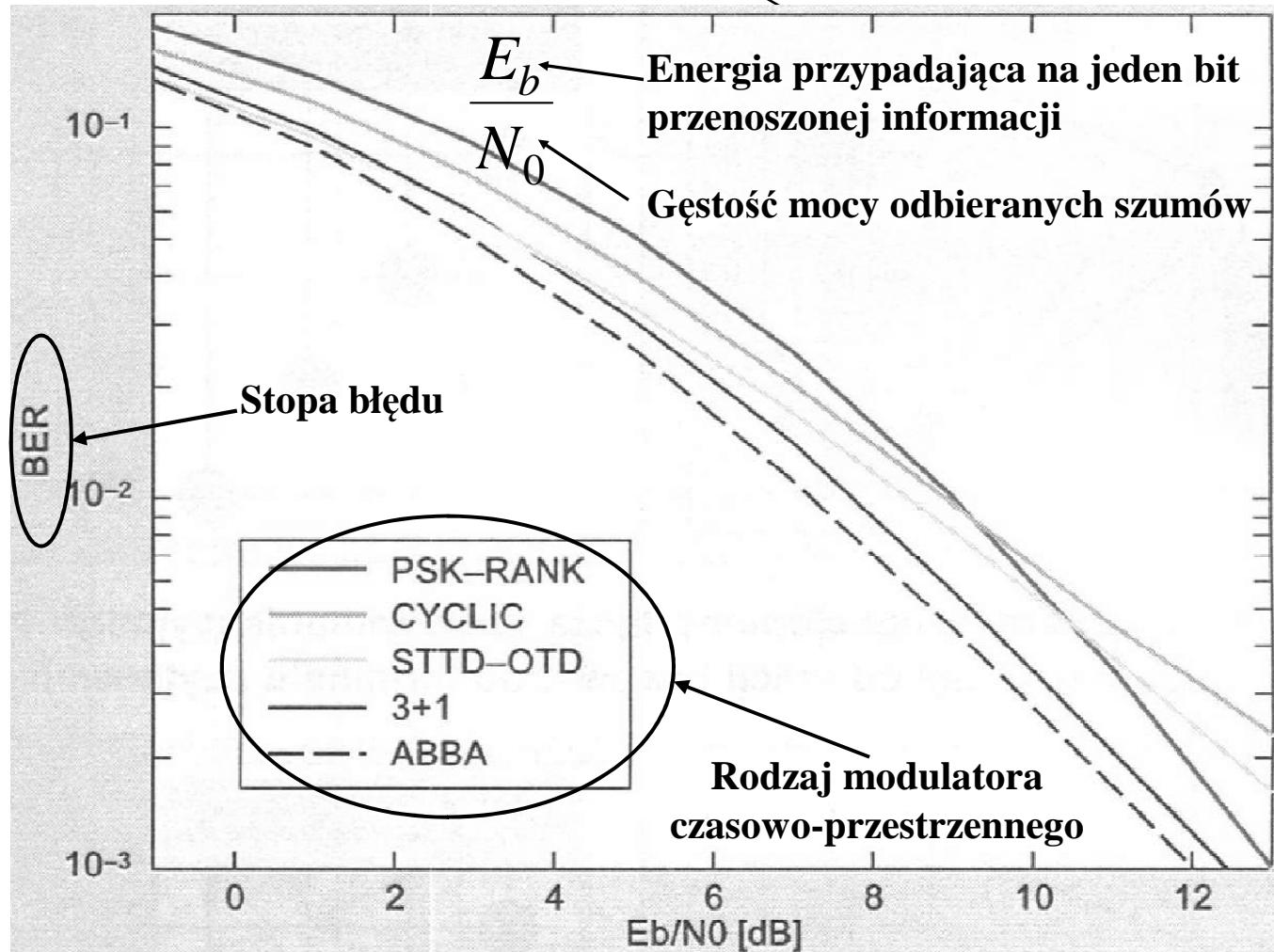
$$X_B = \begin{bmatrix} x_3 & x_4 \\ -x_4^* & x_3^* \end{bmatrix}$$

Wyniki badań symulacyjnych

Model kanału radiokomunikacyjnego:

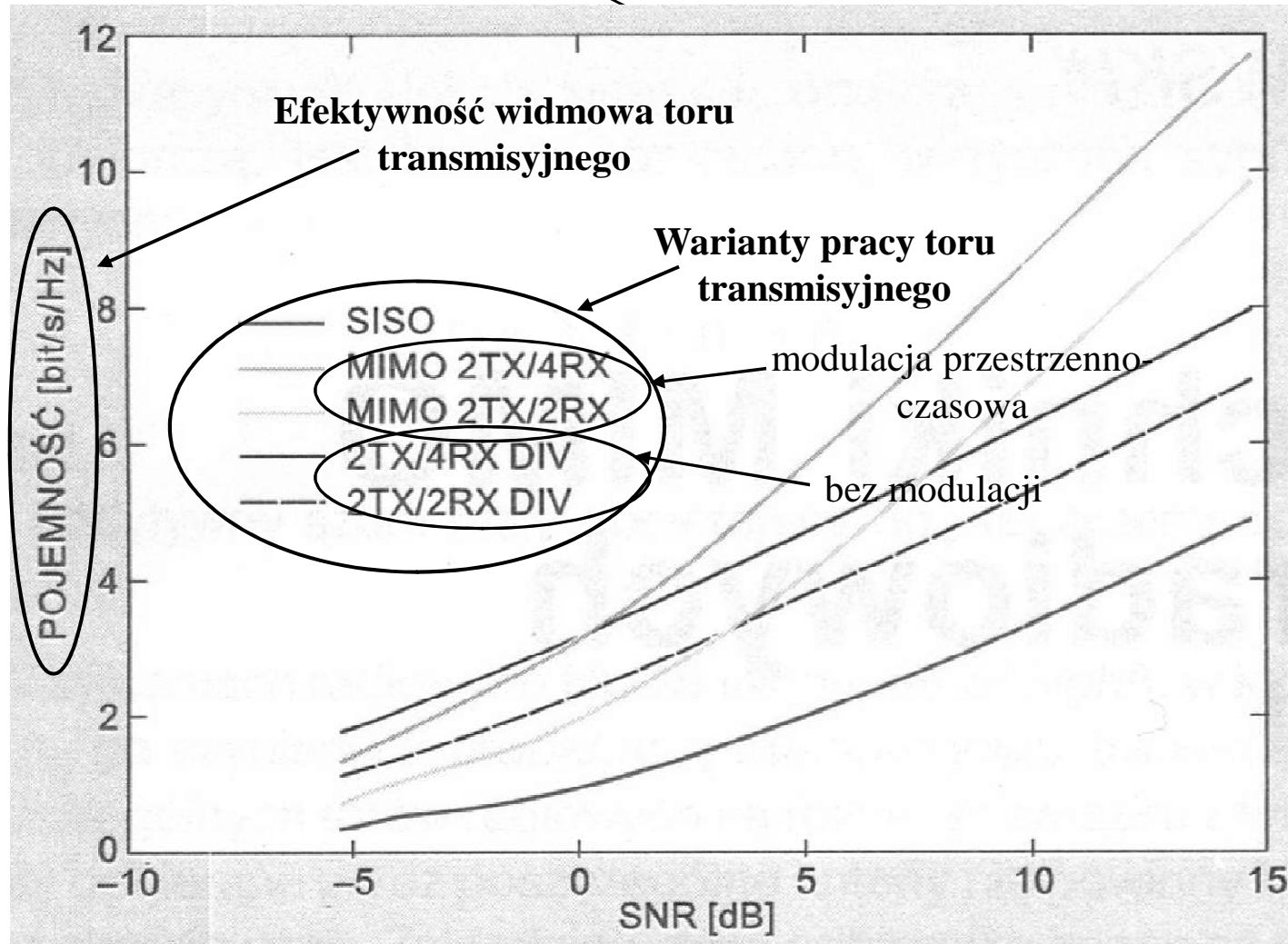
1. Zespół antenowy w stacji bazowej składa się z czterech takich samych anten;
2. Zaniki bloków odbieranego sygnału opisano rozkładem Rayleigha;
3. W terminalu użytkownika zastosowano pojedynczy odbiór poprzez jedną antenę;
4. Przy odbiorze sygnału zastosowano algorytm detekcji ML (*Maximum Likelihood*);

Wyniki badań symulacyjnych



Porównanie jakości działania różnych rodzajów modulacji przestrzenno-czasowych.

Wyniki badań symulacyjnych



Porównanie efektywności widmowej różnych wariantów pracy toru transmisyjnego.

Wnioski

- Różnice w działaniu modulatorów czasowo-przestrzennych wynikają z interferencji własnych, które dany modulator wnosi do kanału transmisji. Wzrost tych interferencji zmniejsza możliwości zapewnienia warunków stanu nieskorelowania sygnałów rozchodzących się poszczególnymi drogami;
- Modulacja ABBA zapewnia pełną ochronę przed błędami o małym dystansie euklidesowym, co wynika z faktu nieortogonalnych właściwości modulacji ABBA;
- Technika zwielokrotnionego nadawania i zbiorczego odbioru prowadzi do poprawy efektywności działania toru transmisyjnego, co szczególnie jest uwidocznione w przypadku jednoczesnego stosowania zwielokrotnionego nadawania i zbiorczego odbioru wraz z modulacją przestrzenno-czasową.

Wnioski

- Omawiana technika będzie mieć zastosowanie w systemach trzeciej i czwartej generacji dzięki czemu możliwe będzie uzyskanie przepływności ruchomych kanałów radiokomunikacyjnych do poziomu łączą światłowodowego;
- Wykorzystanie metody determinuje środowisko. Najlepsze efekty wystąpią w aglomeracjach wielkomiejskich, gdzie zjawisko wielodrogowości charakteryzuje się niewielkim stopniem wzajemnego skorelowania sygnałów radiowych rozchodzących się w poszczególnych ścieżkach propagacyjnych.

DZIĘKUJĘ ZA
UWAGĘ