



Propagacja wielodrogowa sygnału radiowego

Paweł Kułakowski
Linie radiowe 2006
www.kt.agh.edu.pl/~brus/linie_radiowe

1

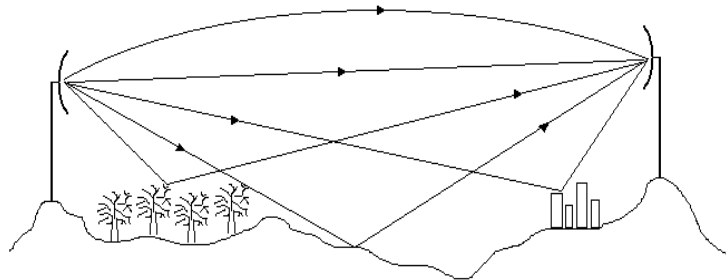


Plan wykładu

1. Wprowadzenie – zjawisko propagacji wielodrogowej, modele kanału radiowego
2. Strefy odbicia w przęsłach linii radiowych
 - głębokości zaników w zależności od rodzaju terenu
 - wyznaczanie stref odbicia dla przęseł linii radiowych
 - sposoby unikania lub zmniejszania głębokości zaników wielodrogowych
3. Systemy wieloantenowe MIMO
4. Analiza wielodrogowej propagacji fal radiowych
 - *Ray Tracing*

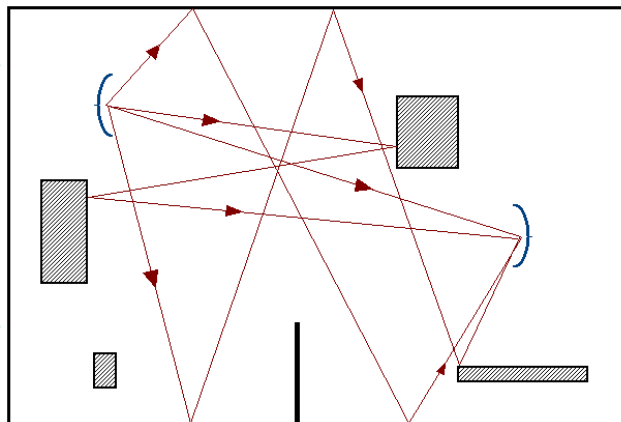
2

Propagacja wielodrogowa
w terenie otwartym
- *outdoor multipath propagation*



3

Propagacja wielodrogowa
wewnątrz budynków
- *indoor multipath propagation*




4



Modele kanału radiowego

- LoS (Line-of-Sight)
- NLoS (Non-Line-of-Sight)
- model Rayleigha
 - propagacja wielodrogowa,
 - brak fali bezpośredniej,
 - nie istnieje promień o mocy znacząco większej od pozostałych
- model Rice'a (model Rayleigha + fala bezpośrednia)

5



Strefy odbicia w przęsłach linii radiowych

6

Linie radiowe

– wybór wysokości zawieszenia anten

Pierwsza strefa Fresnela:

$$r_1 = \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{d} \cdot \lambda}$$



Wybór wysokości zawieszenia anten zależy od:

- wysokości przeszkód terenowych,
- względnej krzywizny Ziemi z uwzględnieniem współczynnika nasilenia refrakcji,
- rozmiaru pierwszej strefy Fresnela określającej przestrzeń propagacji fali radiowej.

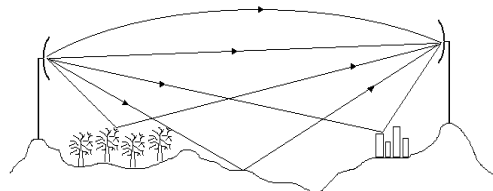
7

Linie radiowe

– interferencja fal odbitych

Fale radiowe docierające od anteny nadawczej do anteny odbiorczej :

- fala bezpośrednia
- fale propagujące przez wyższe warstwy atmosfery
- fale odbite od powierzchni Ziemi



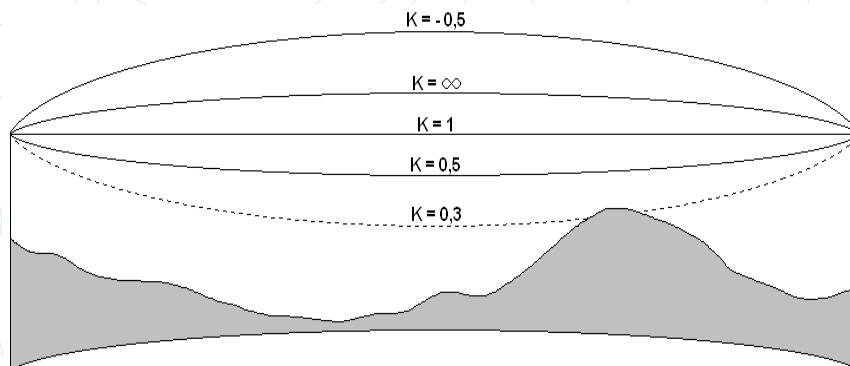
8

Głębokości zaników

Typ terenu	Głębokość zaników [dB]
Gęsty las	0 - 2
Pojedyncze drzewa, krzewy	2 - 5
Wysokie trawy	5 - 10
Niskie trawy	10 - 20
Gładka powierzchnia Ziemi lub morza	20 - 40

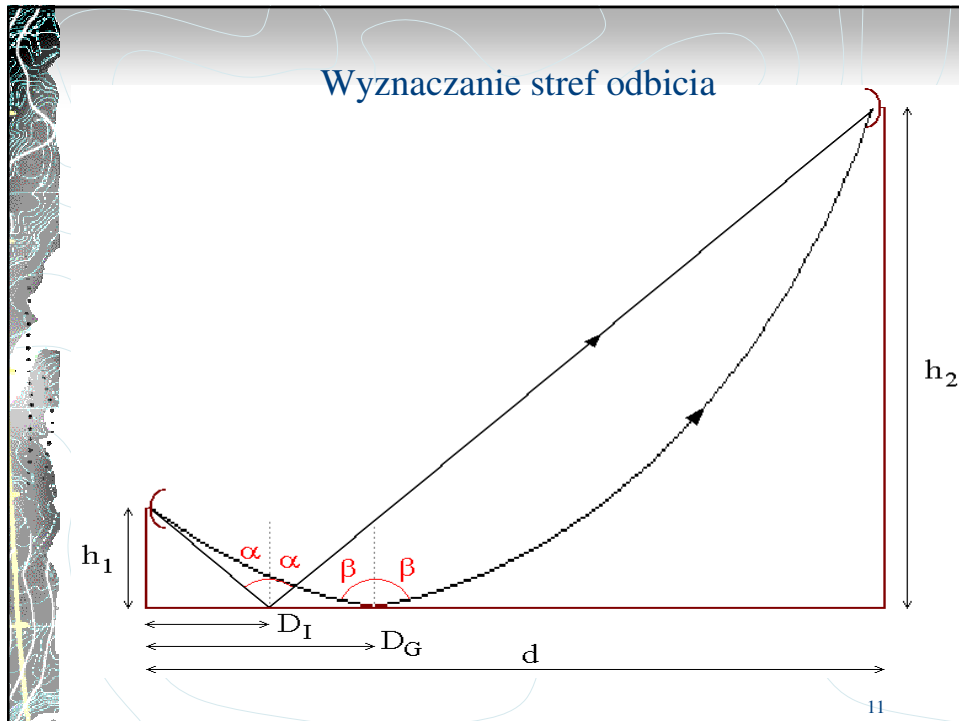
9

Współczynnik nasilenia refrakcji



10

Wyznaczanie stref odbicia



Wyznaczanie stref odbicia

Granice strefy odbicia :

$$D_I = d \cdot n_I \qquad D_G = d \cdot n_G$$

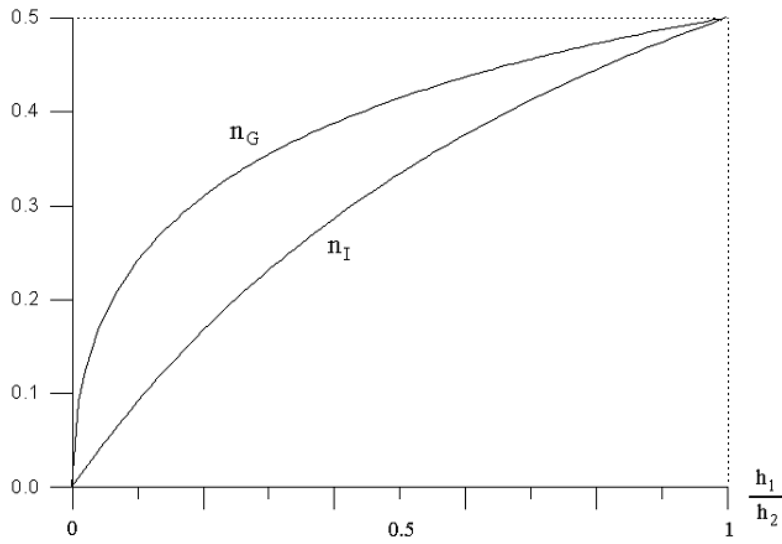
D_I, D_G - odległości granic strefy odbicia od niższej anteny

d – długość przęsła

h_1 – wysokość zawieszenia niższej anteny

h_2 – wysokość zawieszenia wyższej anteny

Wyznaczanie stref odbicia



13

Wyznaczanie stref odbicia

$$n_I = 1 - \frac{1}{1 + \frac{h_1}{h_2}} = \dots = \frac{h_1}{h_1 + h_2}$$

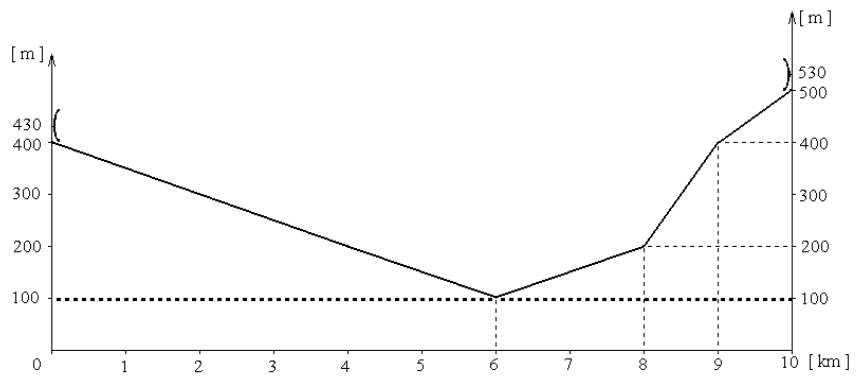
$$n_G = 1 - \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}} = \dots = \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}}$$

$$D_I = d \cdot \frac{h_1}{h_1 + h_2}$$

$$D_G = d \cdot \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}}$$

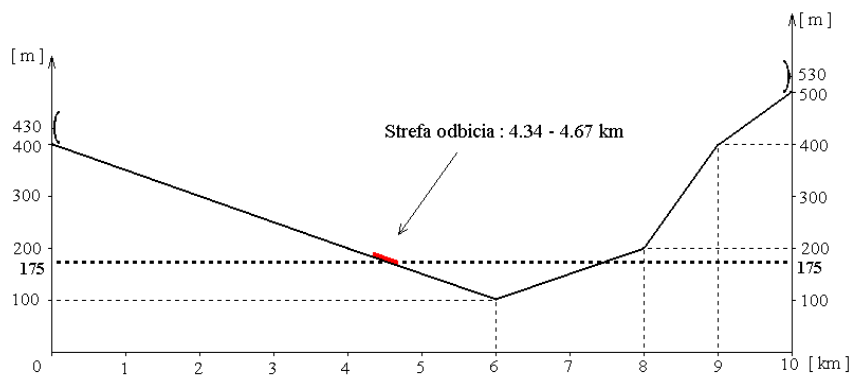
14

Wyznaczanie stref odbicia

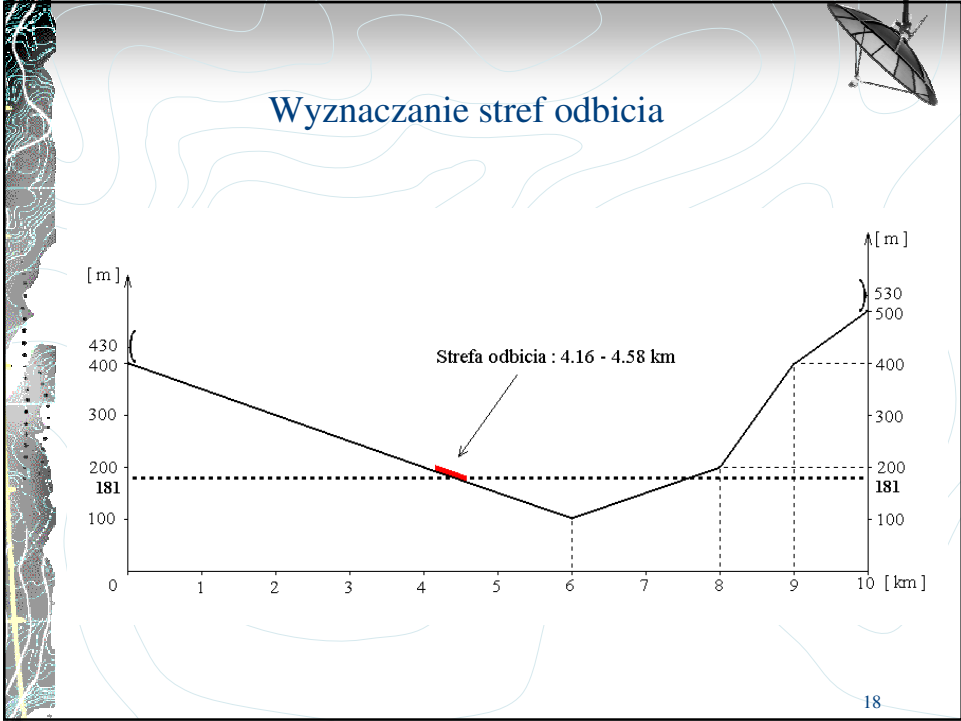
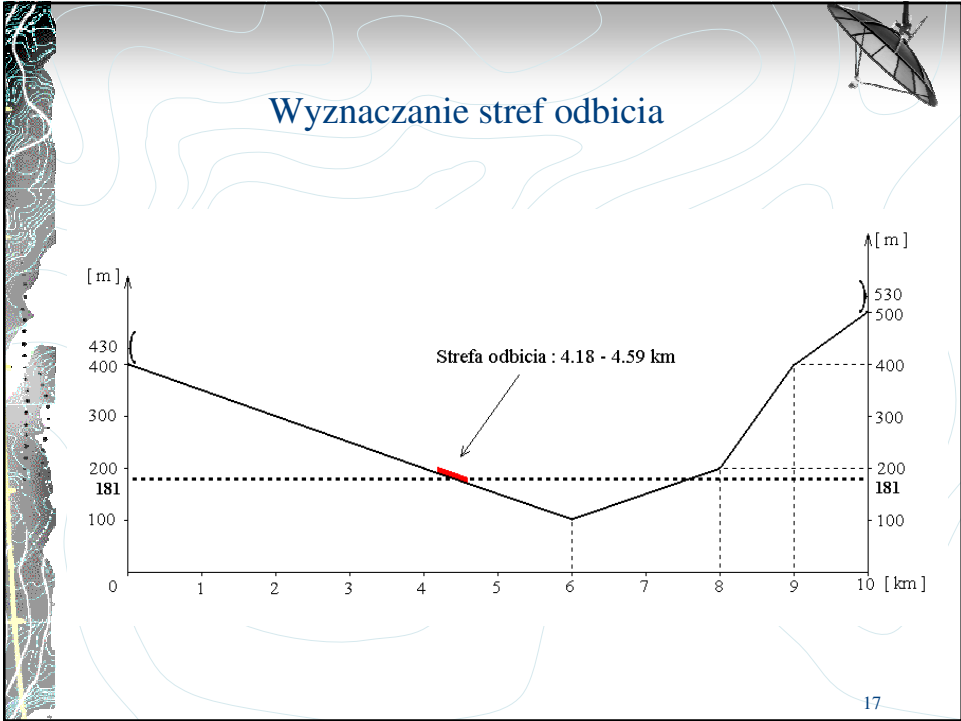


15

Wyznaczanie stref odbicia



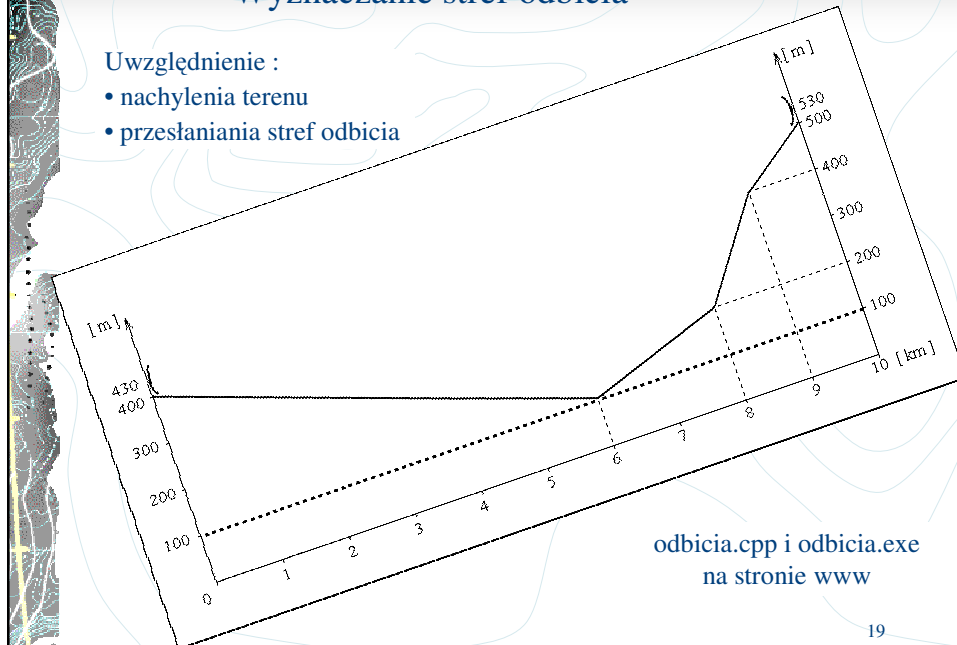
16



Wyznaczanie stref odbicia

Uwzględnienie :

- nachylenia terenu
- przesłaniania stref odbicia



19

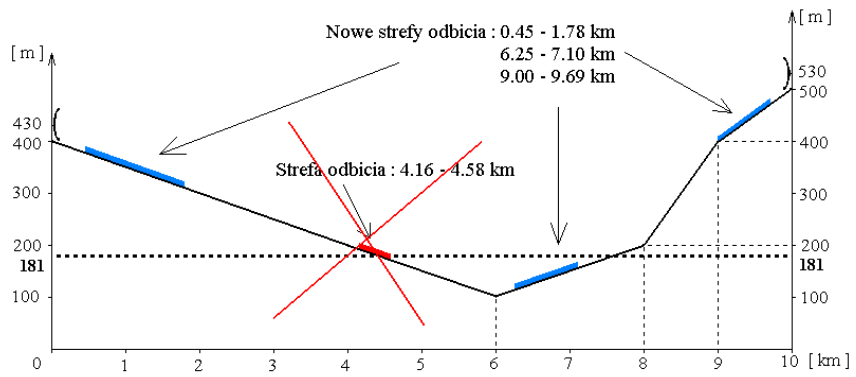
Wyznaczanie stref odbicia

Procedura powtarzana dla każdego prostego odcinka przęsła radiowego :

- obrót układu i obliczenie nowych współrzędnych
- sprawdzenie przesłaniania strefy
- sprawdzenie odbicia

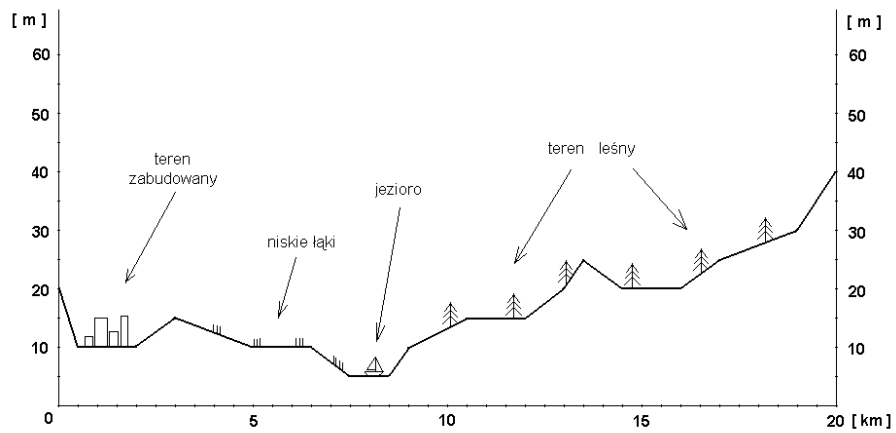
20

Wyznaczanie stref odbicia

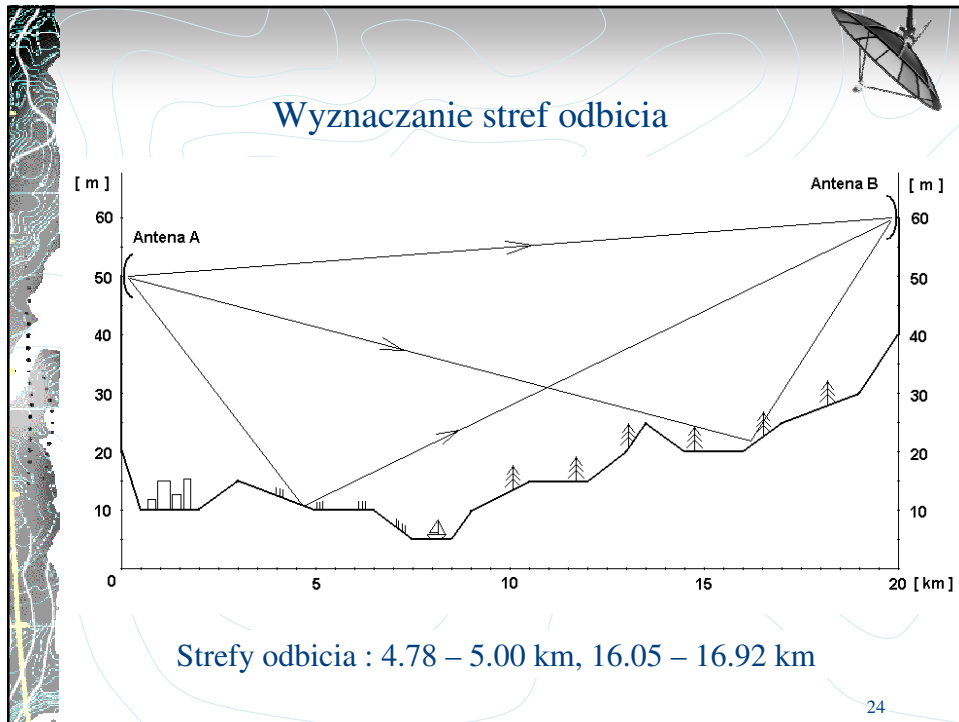
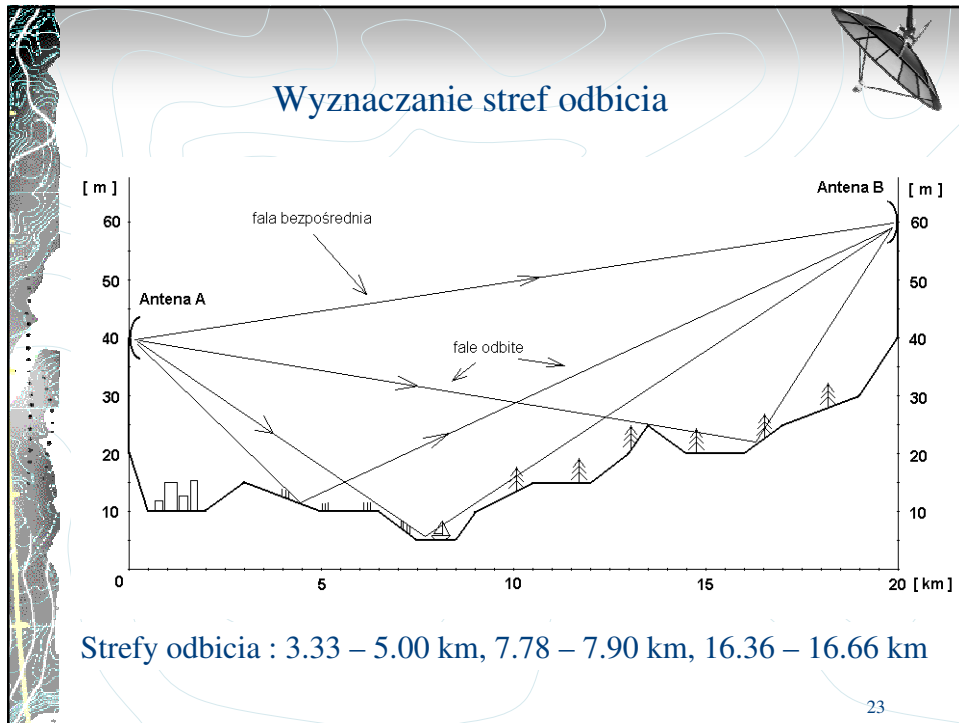


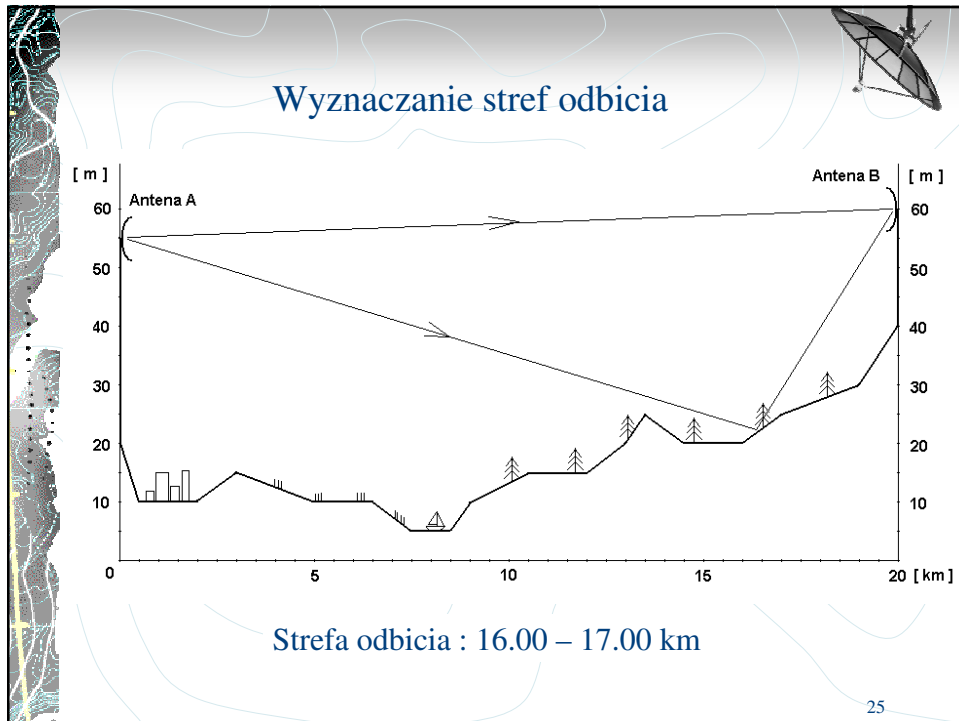
21

Wyznaczanie stref odbicia




22





- ### Sposoby unikania lub zmniejszania głębokości zaników wielodrogowych
1. Regulacja wysokości zawieszenia anten
 2. Zwiększenie kąta inklinacji przęsła radiowego
 3. Zwiększenie kątów elewacji obu anten
 4. Osłonięcie anteny przed falą odbitą
 5. Wykorzystanie polaryzacji wertykalnej fali radiowej w przęsłach znajdujących się nad zbiornikami wodnymi
 6. Zastosowanie odbioru zbiorczego
- 26



Pozytywne aspekty propagacji wielodrogowej

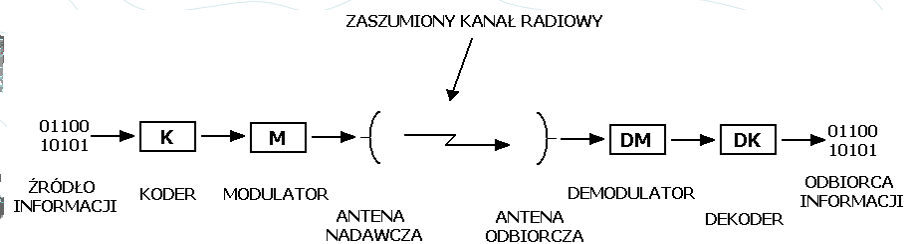
- systemy wieloantenowe MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

27



Systemy MIMO

Tradycyjny system radiokomunikacyjny :



28

Systemy MIMO

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

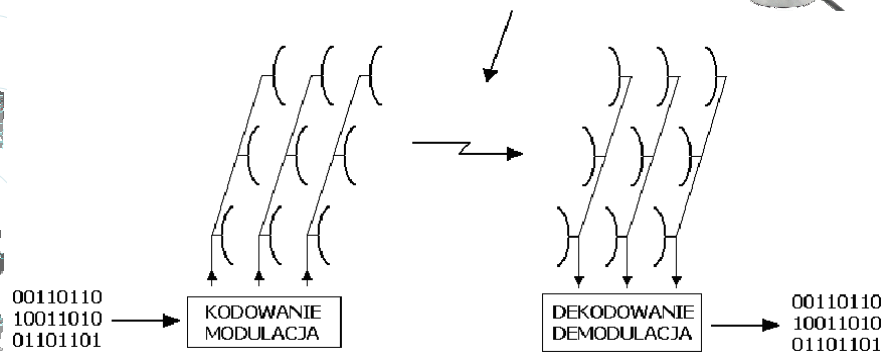


29

Systemy MIMO

System wieloantenny :

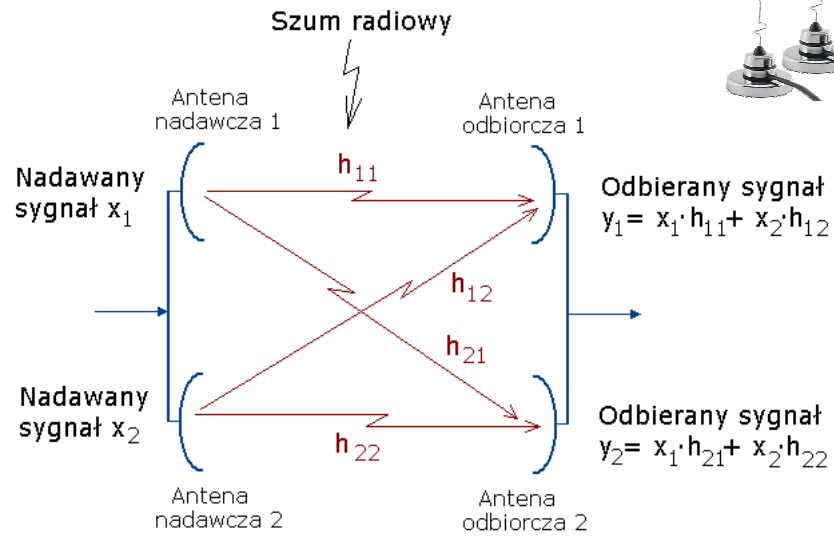
ZASZUMIONY KANAŁ RADIOWY



30

Systemy MIMO

System wieloantennyowy :



Systemy MIMO

System (m,m) :

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

$$f = \text{const}$$



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

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

Systemy MIMO

Założenia :

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*)



33

Przepustowość systemu MIMO

$$\text{System (1,1) : } \eta = \log_2(1 + SNR)$$

$$\text{System (m,m) : } \eta = \log_2\left(\det\left(I_m + \frac{SNR}{m} HH^*\right)\right)$$

η - współczynnik wykorzystania pasma [b/s/Hz]

SNR – średni stosunek mocy sygnału do mocy szumu na zaciskach anteny odbiorczej

I_m – macierz jednostkowa $m \times m$

H^* – macierz H sprzężona i transponowana

Współczynnik wykorzystania pasma
może wzrosnąć nawet m-krotnie



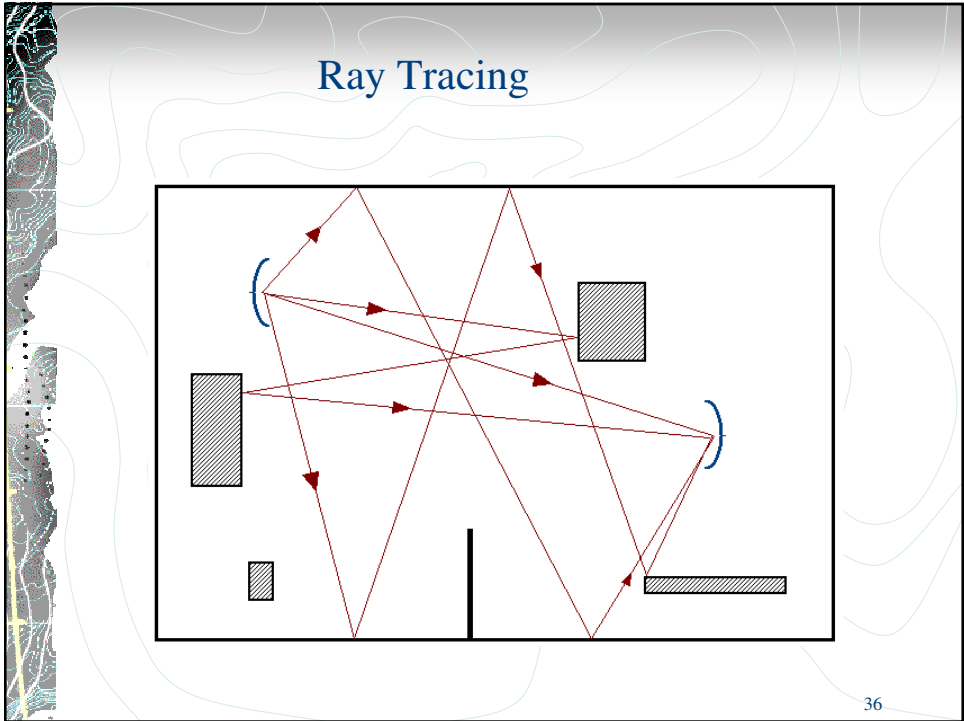
34



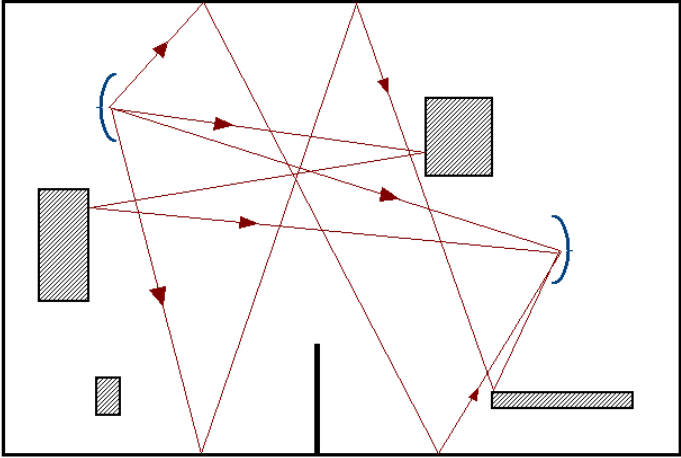
Ray Tracing

- metoda analizy propagacji wielodrogowej w środowisku *indoor*

35

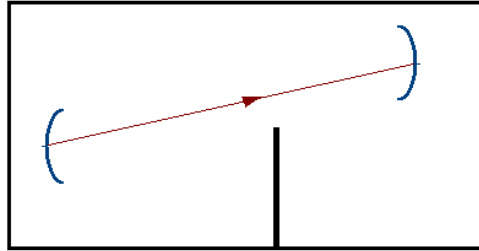


Ray Tracing

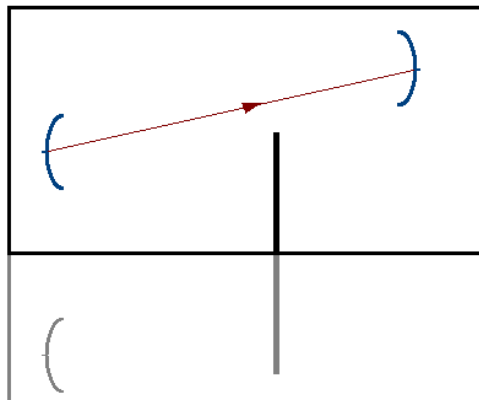


36

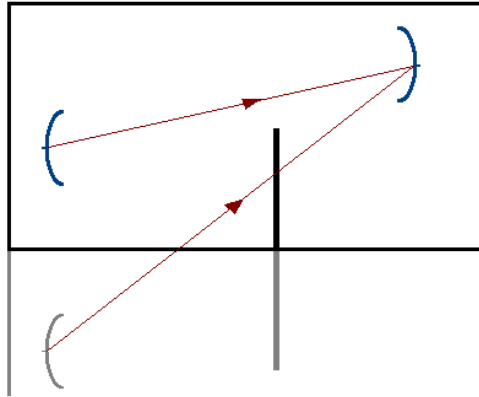
Ray Tracing



Ray Tracing

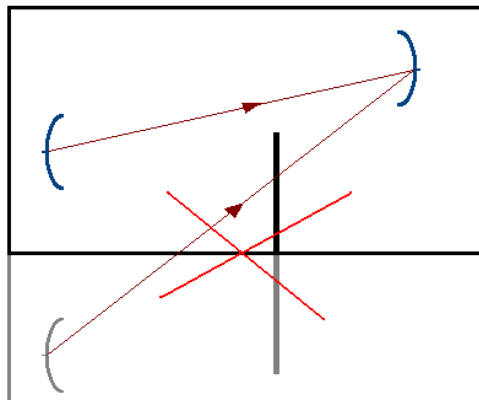


Ray Tracing



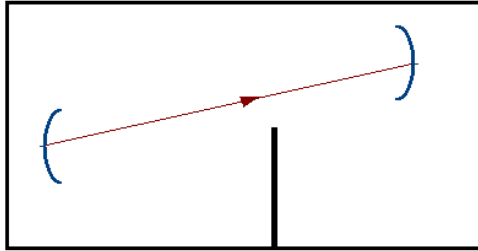
39

Ray Tracing

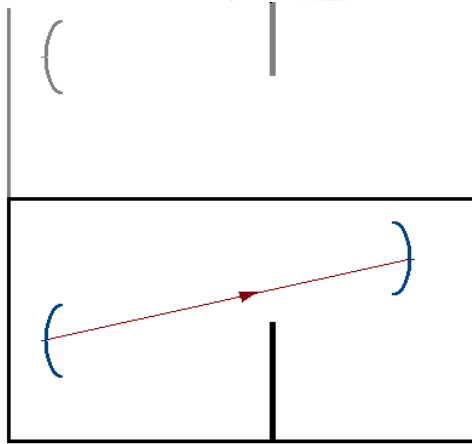


40

Ray Tracing



Ray Tracing



Ray Tracing

A diagram illustrating ray tracing in a rectangular room. A red ray originates from a source on the left wall, indicated by a blue left parenthesis '('. The ray travels diagonally down and to the right, reflecting off the top horizontal surface. It then travels diagonally down and to the left, reflecting off the right vertical surface, which is marked with a blue right parenthesis ')'. The room is defined by black lines for the walls and floor. A vertical line in the center represents a pillar. A small inset image in the top right corner shows a modern glass skyscraper against a blue sky.

43

Ray Tracing

A diagram illustrating ray tracing in a rectangular room. A red ray originates from a source on the left wall, indicated by a blue left parenthesis '('. The ray travels diagonally up and to the right, reflecting off the top horizontal surface. It then travels diagonally down and to the right, reflecting off the right vertical surface, which is marked with a blue right parenthesis ')'. The room is defined by black lines for the walls and floor. A vertical line in the center represents a pillar. A small inset image in the top right corner shows a modern glass skyscraper against a blue sky.

44

Ray Tracing

A ray tracing diagram illustrating reflection. A vertical line on the left represents a wall. A horizontal line represents a floor. A blue arc on the left wall represents an object. A red ray originates from the top of this arc, reflects off the floor, and ends at a blue arc on the right wall. A second red ray originates from the bottom of the left arc, reflects off the floor, and ends at the same blue arc on the right wall. A vertical line on the floor represents a shadow cast by the object on the wall.

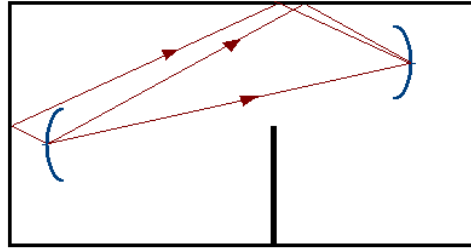
45

Ray Tracing

A ray tracing diagram illustrating reflection. A vertical line on the left represents a wall. A horizontal line represents a floor. A blue arc on the left wall represents an object. A red ray originates from the top of this arc, reflects off the floor, and ends at a blue arc on the right wall. A second red ray originates from the bottom of the left arc, reflects off the floor, and ends at the same blue arc on the right wall. A third red ray originates from the top of the left arc, reflects off the floor, and ends at a blue arc on the left wall. A vertical line on the floor represents a shadow cast by the object on the wall.

46

Ray Tracing



47

Ray Tracing

Transmitancja kanału radiowego :

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \dots + \vec{H}_n$$

Transmitancja pojedynczego promienia radiowego :

$$\vec{H}_n = G_n \cdot \vec{P} \cdot \prod_i \vec{R}_i \cdot \frac{e^{-j2\pi r_n / \lambda}}{r_n}$$

G_n – zysk anteny nadawczej na kierunku transmisji,

P – wektor polaryzacji anteny nadawczej,

$R_1 - R_i$ – współczynniki odbicia dla n-tego promienia,

r_n – długość drogi pokonywanej przez n-ty promień radiowy,

λ – długość fali nośnej.

48

Ray Tracing

- podsumowanie

1. Analiza możliwych dróg propagacji między anteną nadawczą i odbiorczą
2. Odbicie fali radiowej :
 - dwie polaryzacje fali – różne współczynniki odbicia
 - współczynniki odbicia zależne od kąta padania fali radiowej i przenikalności dielektrycznej płaszczyzny odbicia
3. Ograniczenie liczby odbić fali radiowej
4. Inne zjawiska : rozproszenie, dyfrakcja
5. Superpozycja (sumowanie) fal radiowych w odbiorniku

49

Dziękuję za cierpliwość

50