

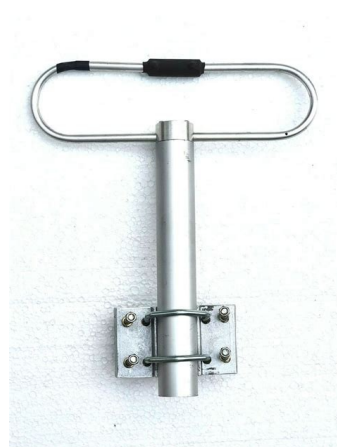
Anteny, MIMO, beamforming



Antena

a means for radiating or receiving radio waves*

dipole:



anteny paraboliczne:



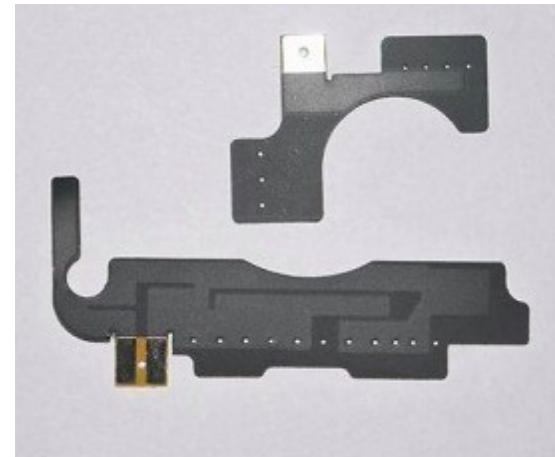
* IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (IEEE Std 145–1983)

Anteny cd.

na stacji bazowej
(układy anten):



w telefonie
(microstrip / patch
/ PCB / FPC antennas):



Antena izotropowa



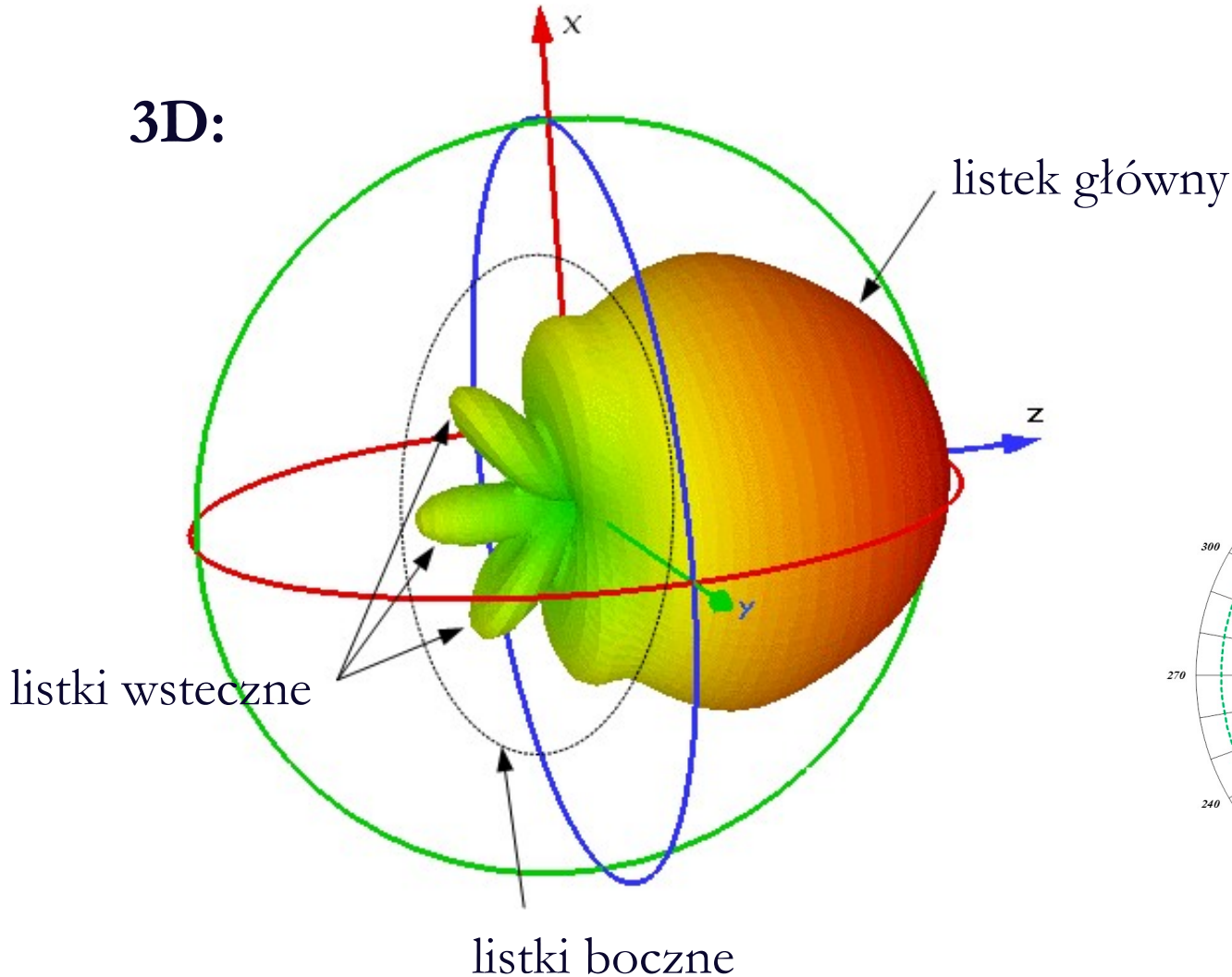
(teoretyczna) antena promieniująca
we wszystkich kierunkach z równą mocą

Anteny izotropowe oraz anteny promieniujące
tylko w jednym, wybranym kierunku **NIE ISTNIEJĄ.**

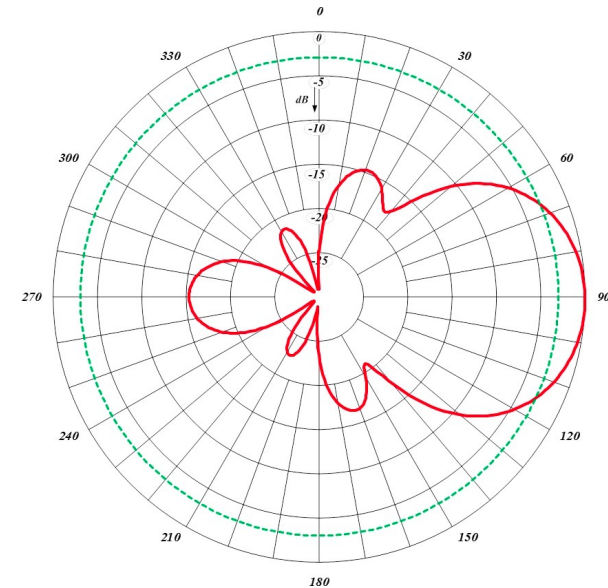
Diagramy kierunkowe anten (charakterystyki promieniowania)

antenna diagrams / radiation patterns

3D:

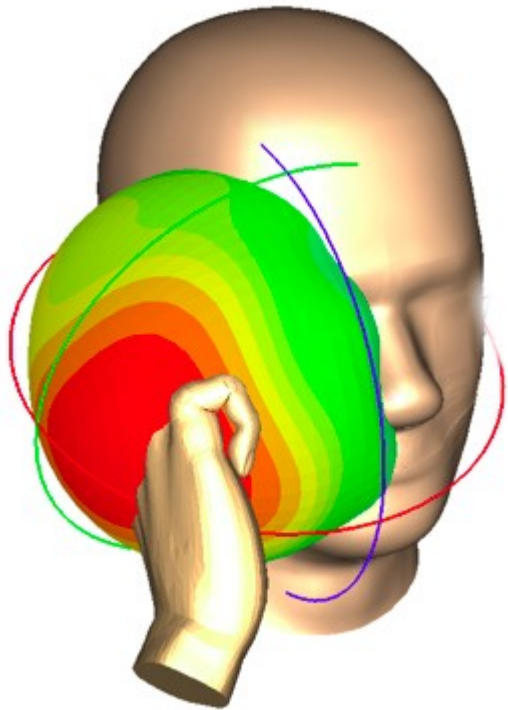


2D:



Przykład dla anteny telefonu (3D)

przy głowie:



w telefonie:



Parametry anten

antenna gain (G), half-power beamwidth (HPBW)

Zysk kierunkowy D [dBi] – wzmocnienie sygnału na danym kierunku w porównaniu z anteną izotropową

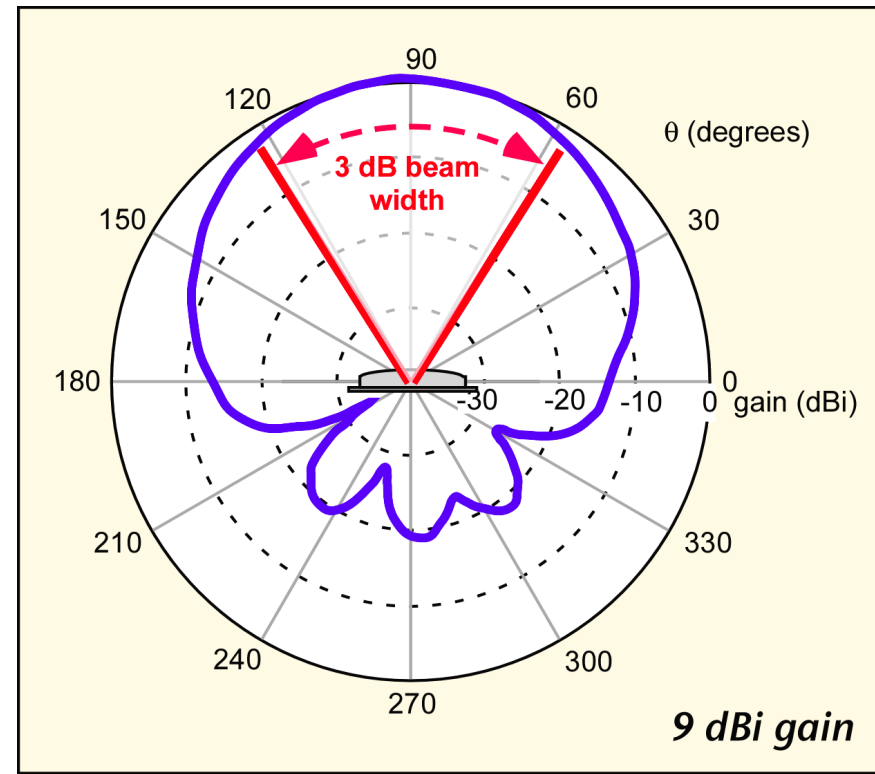
Zysk energetyczny G [dBi] – iloczyn zysku kierunkowego i sprawności energetycznej anteny:

$$G = \eta_A \cdot D \quad \eta_A \approx 95\% - 98\%$$

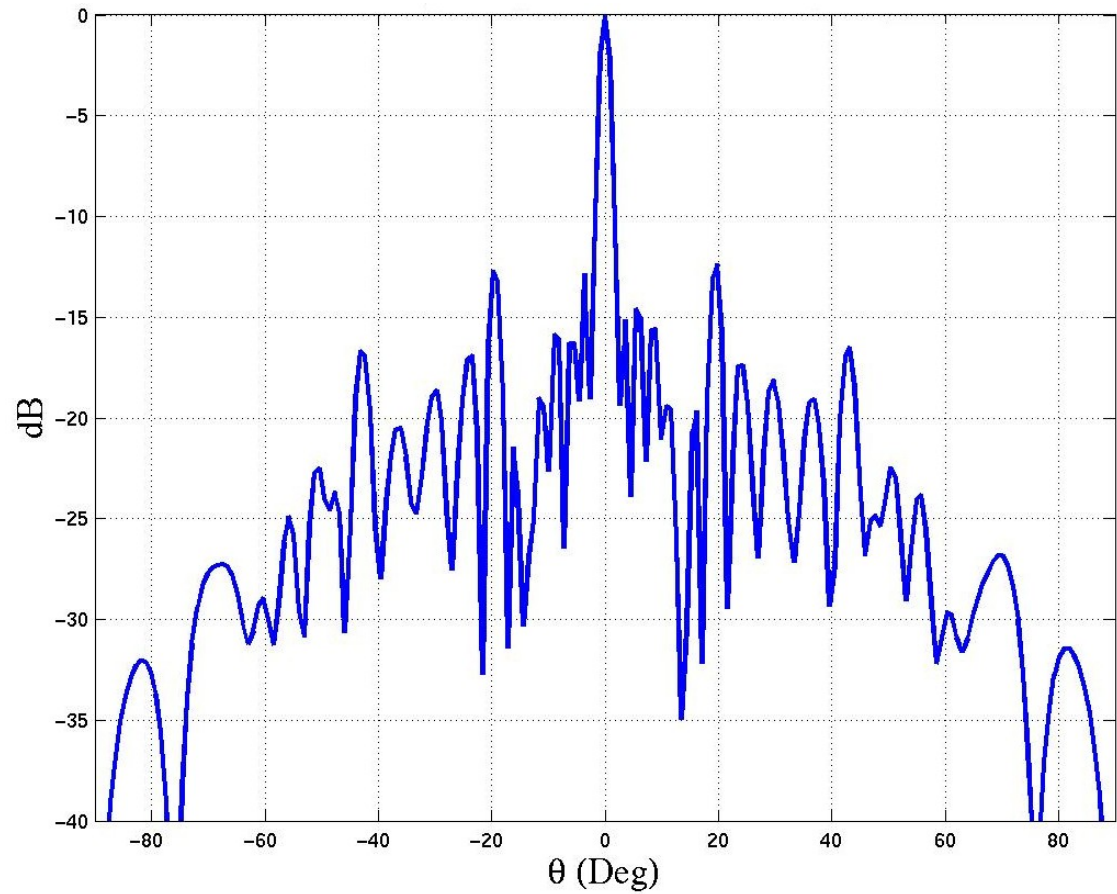
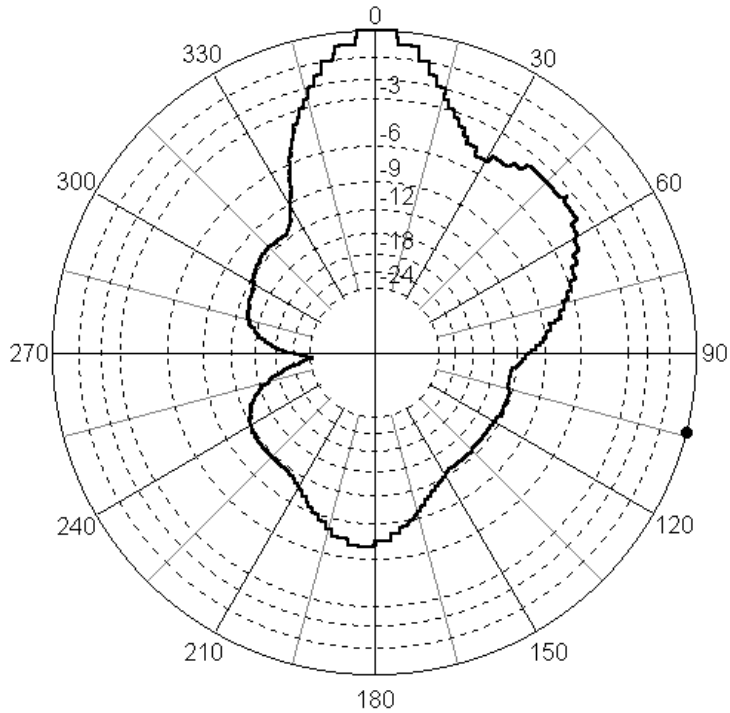
Na kierunku maksymalnego promieniowania: D_{max} i G_{max}

Kąt połowy mocy $2\theta_{3dB}$ [°]

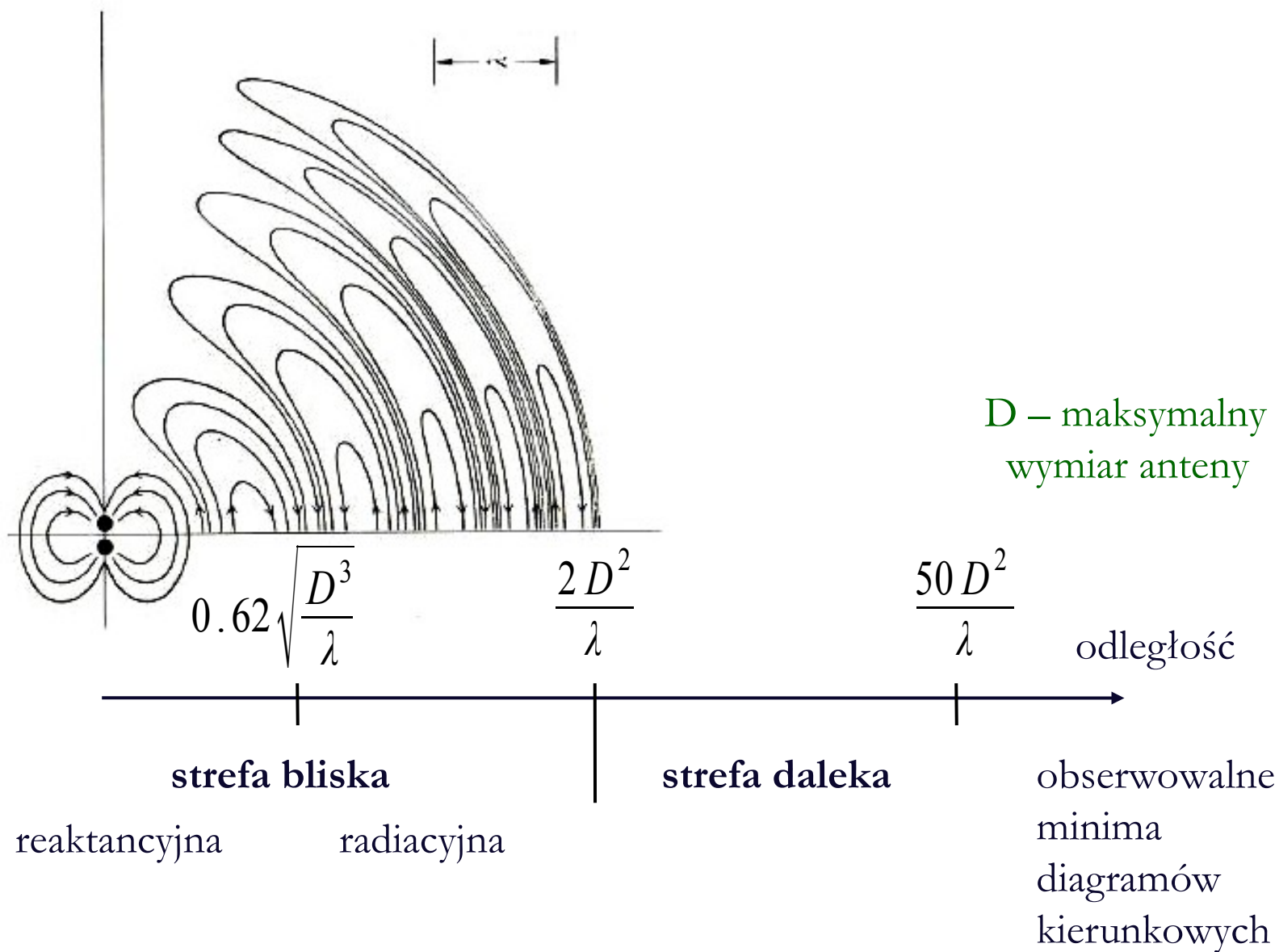
– kąt poza którym moc sygnału spada o 3 dB poniżej mocy maksymalnej



Inne diagramy kierunkowe anten



Strefy promieniowania anteny



Powierzchniowa gęstość mocy



P_T – moc sygnału
nadawanego przez antenę

w hipotetycznym przypadku,
gdy antena promieniuje **równomiernie**
we wszystkich kierunkach,
gęstość powierzchniowa mocy
w odległości r wynosi:

$$S = \frac{P_T}{4\pi \cdot r^2}$$

w ogólnym przypadku:

$$S = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi \cdot r^2}$$

Parametry anten

Powierzchnia (apertura) skuteczna A_S [m²] – hipotetyczna, efektywna powierzchnia odbioru sygnału radiowego



$$S = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi \cdot r^2}$$

$$P_R = S \cdot A_S$$

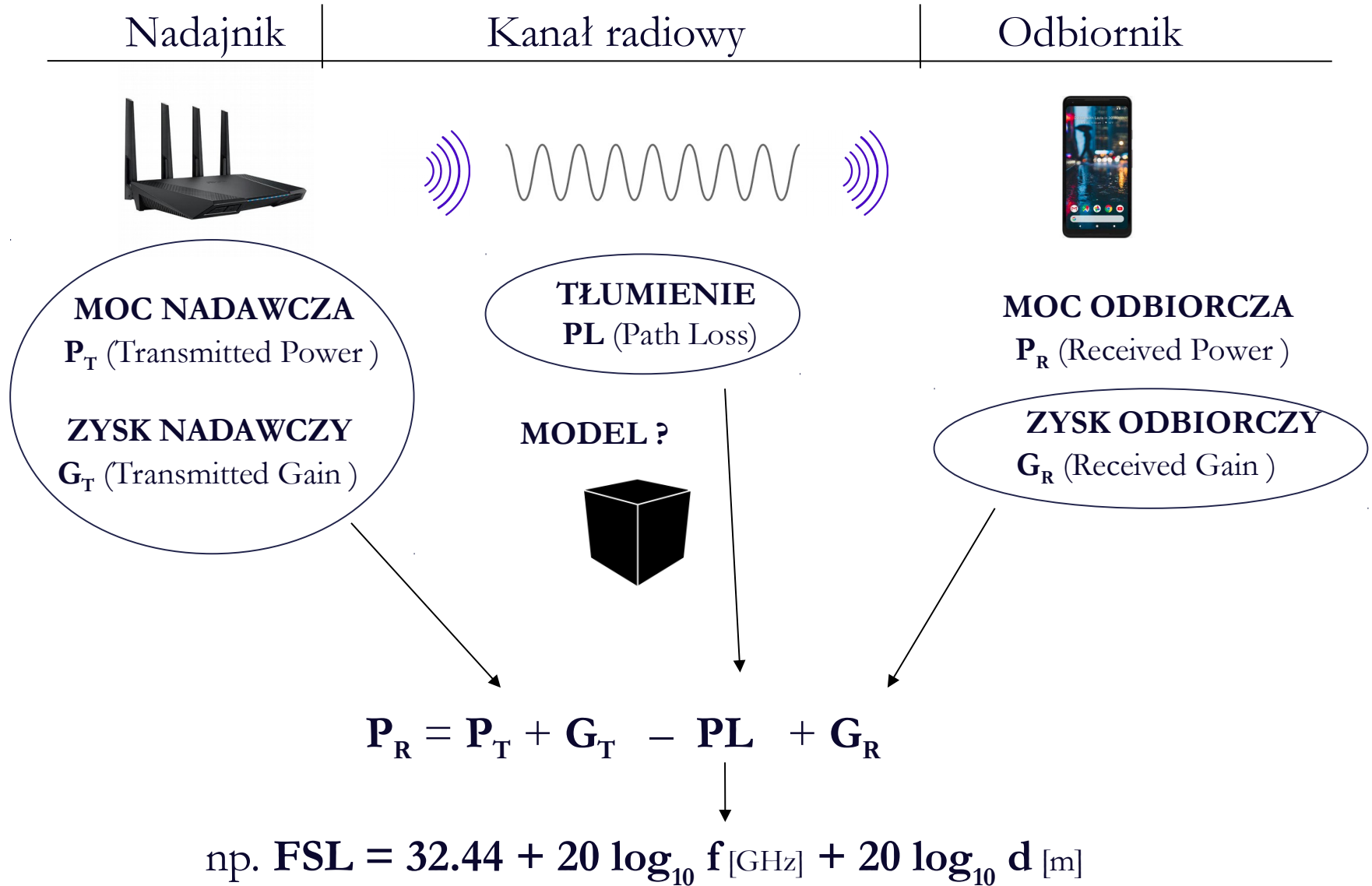
$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T}{4\pi \cdot r^2} \cdot A_S$$

$$A_S = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{max}$$

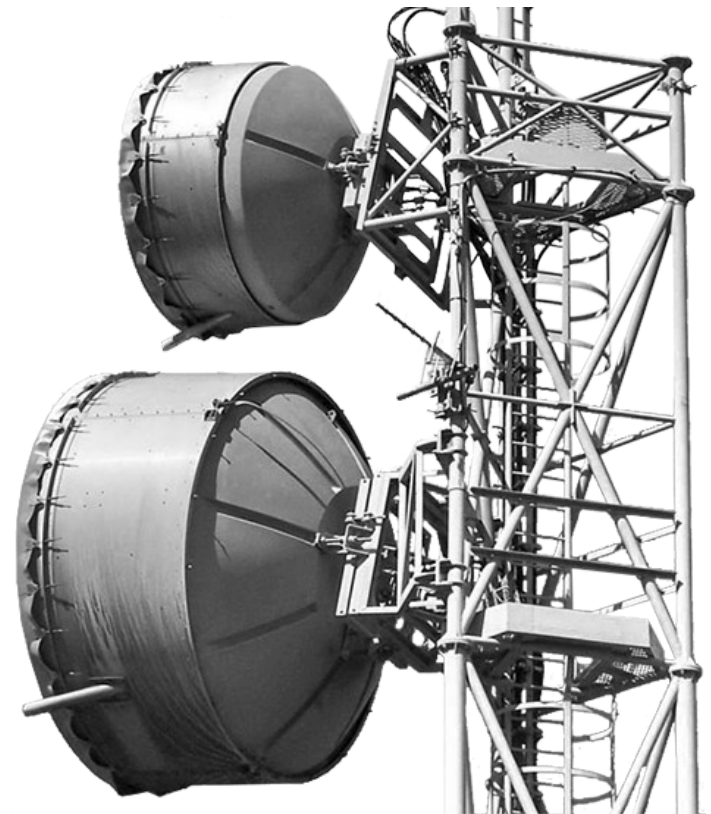
przy odbiorze
na kierunku maksymalnego promieniowania:

$$P_R = P_T \cdot G_T \cdot G_{Rmax} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot r} \right)^2$$

Update do bilansu mocy:



Techniki diversity

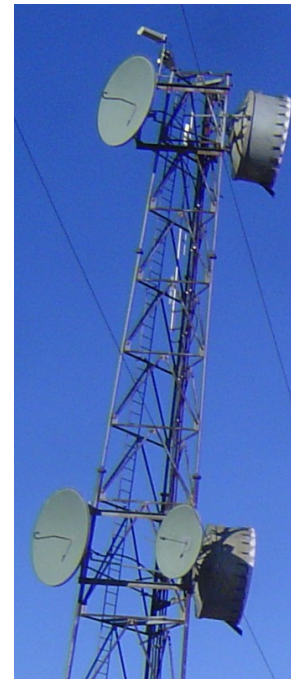
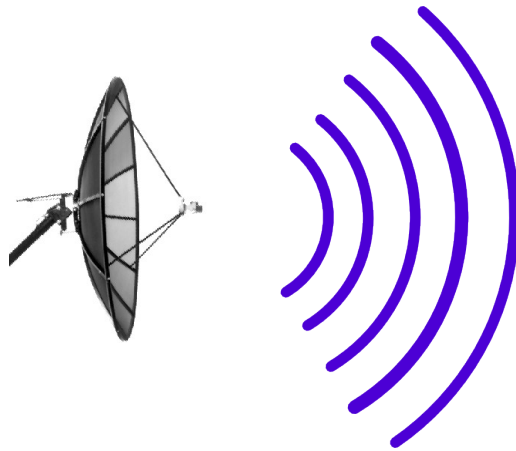


Diversity

Robocza definicja:

Technika jednoczesnego odbioru kilku sygnałów
lub wyboru najlepszego z nich
stosowana w celu uniknięcia zaników wielodrogowych

Przykład :



Techniki diversity

Warunki stosowania technik diversity:

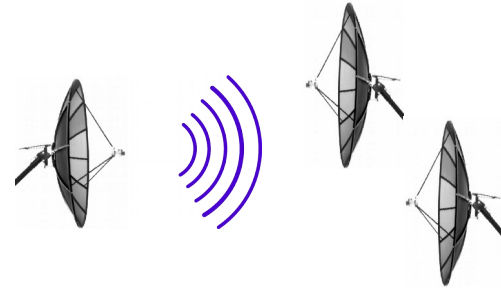
- porównywalne średnie wartości SNR wszystkich odbieranych sygnałów
- mała korelacja między odbieranymi sygnałami

Techniki diversity:

- spatial diversity
- time diversity
- frequency diversity
- polarisation diversity

Time/frequency/polarization diversity

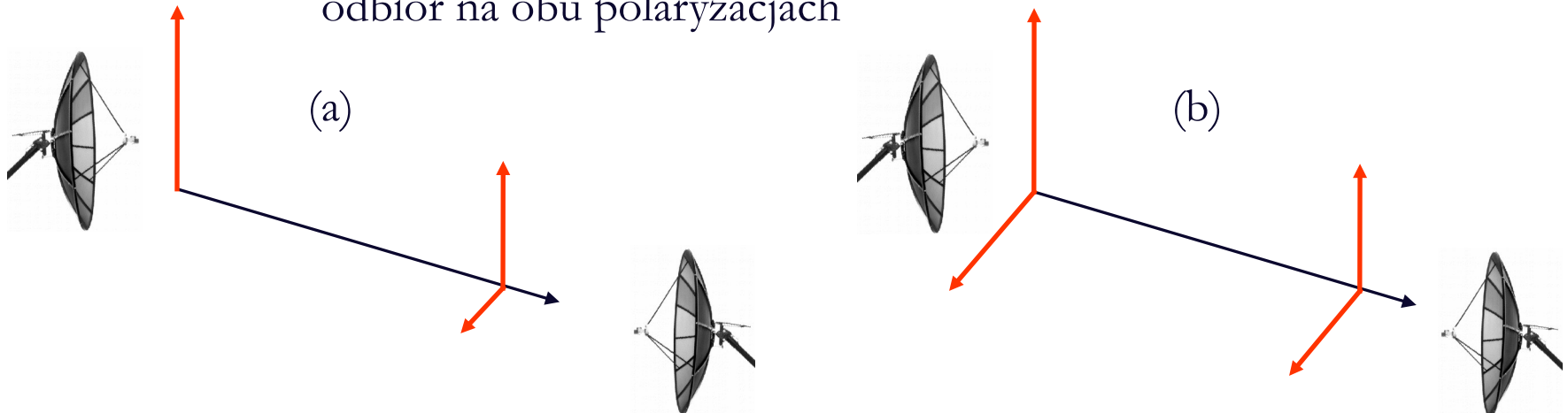
Spatial diversity – odbiór sygnału na 2+ antenach:



Time diversity - powtarzanie transmisji (repetition coding), kody FEC, ARQ

Frequency diversity - informacja jest transmitowana (rozpraszana) w szerokim paśmie częstotliwości -> CDMA, OFDM, frequency hopping

Polarisation diversity – nadawanie na jednej (a) lub dwóch (b) polaryzacjach, odbiór na obu polaryzacjach



Systemy wieloantenowe
MIMO

Multiple-Input
Multiple-Output

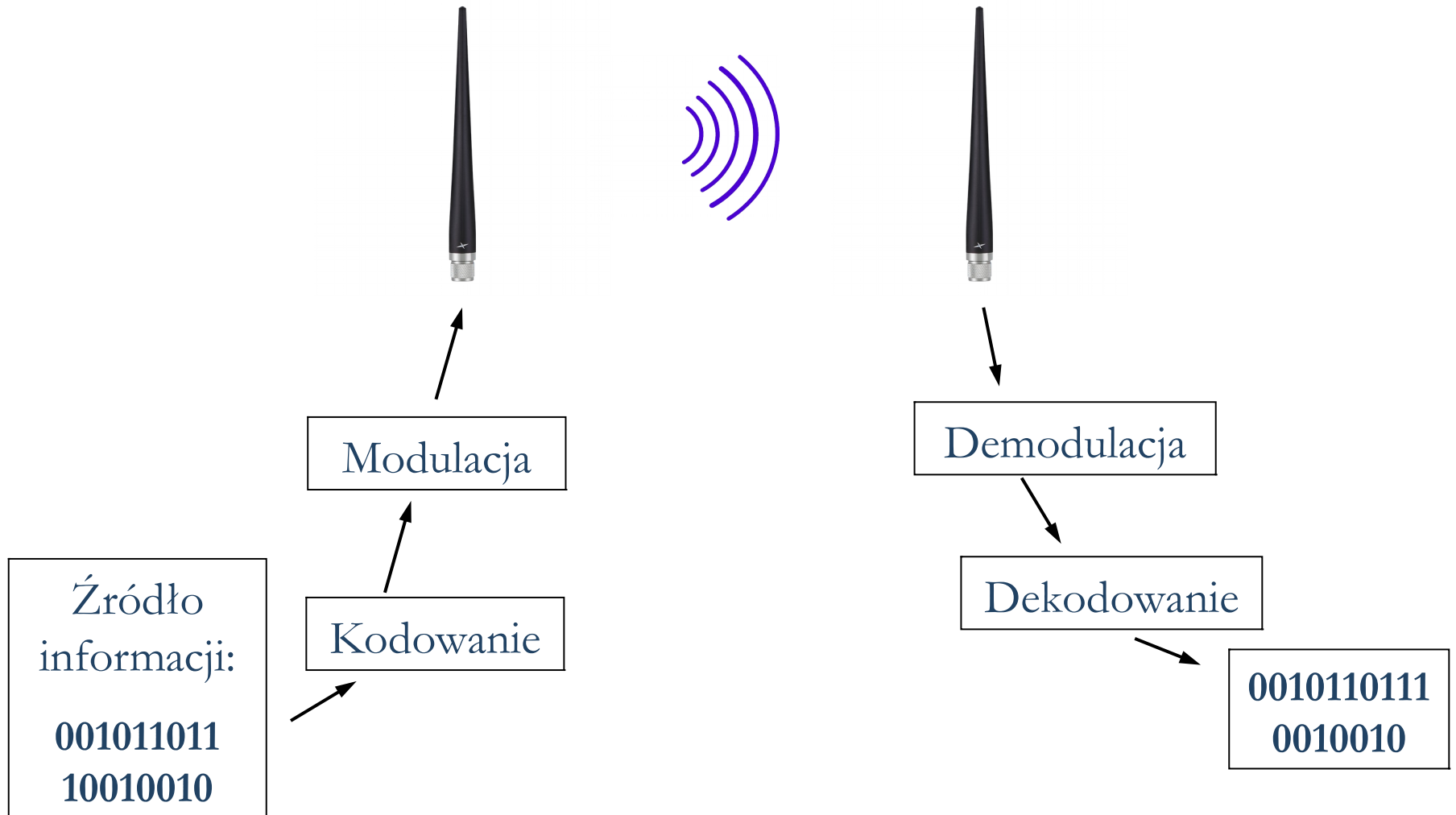


System bezprzewodowy (1,1)

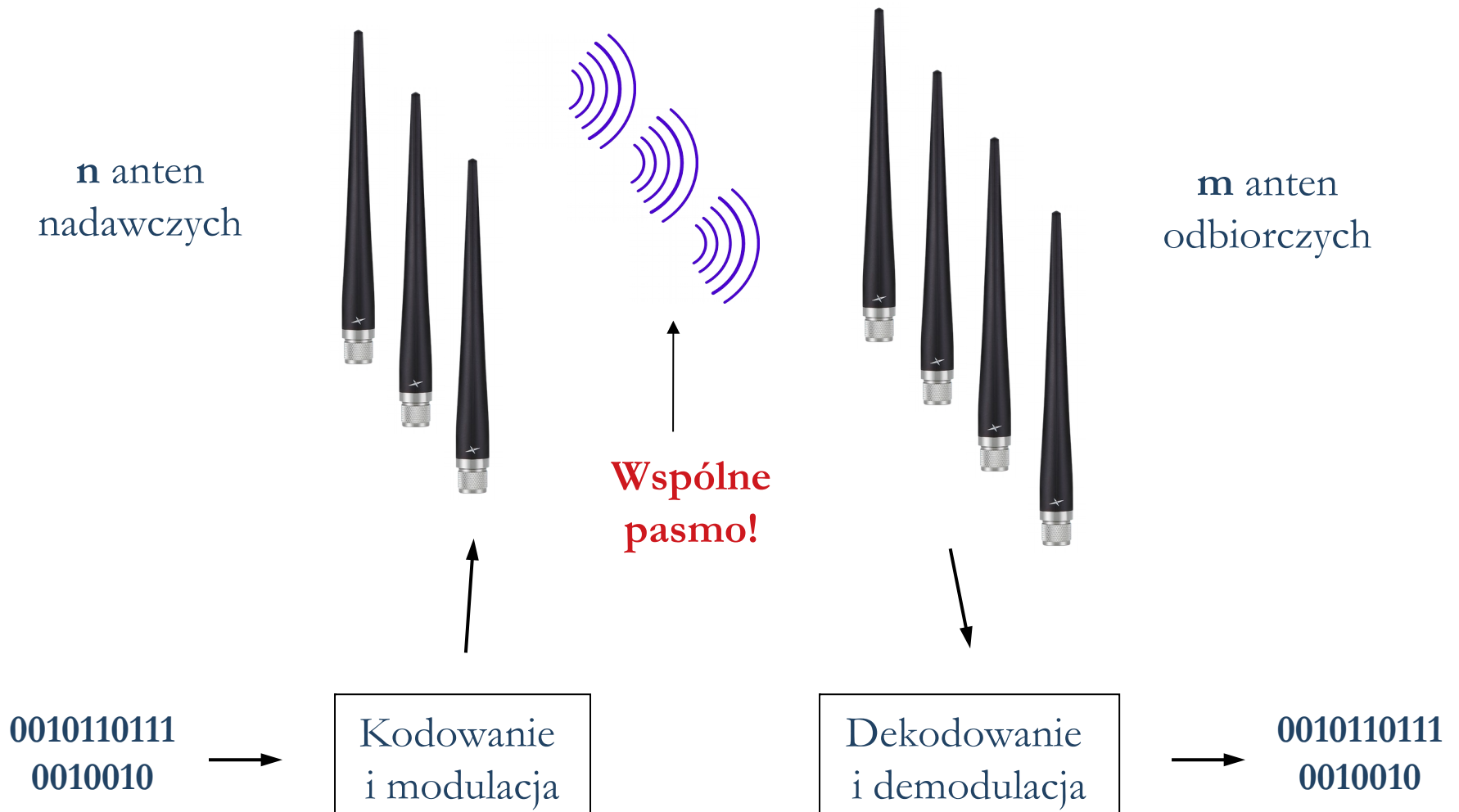
Antena nadawcza

Kanał radiowy

Antena odbiorcza

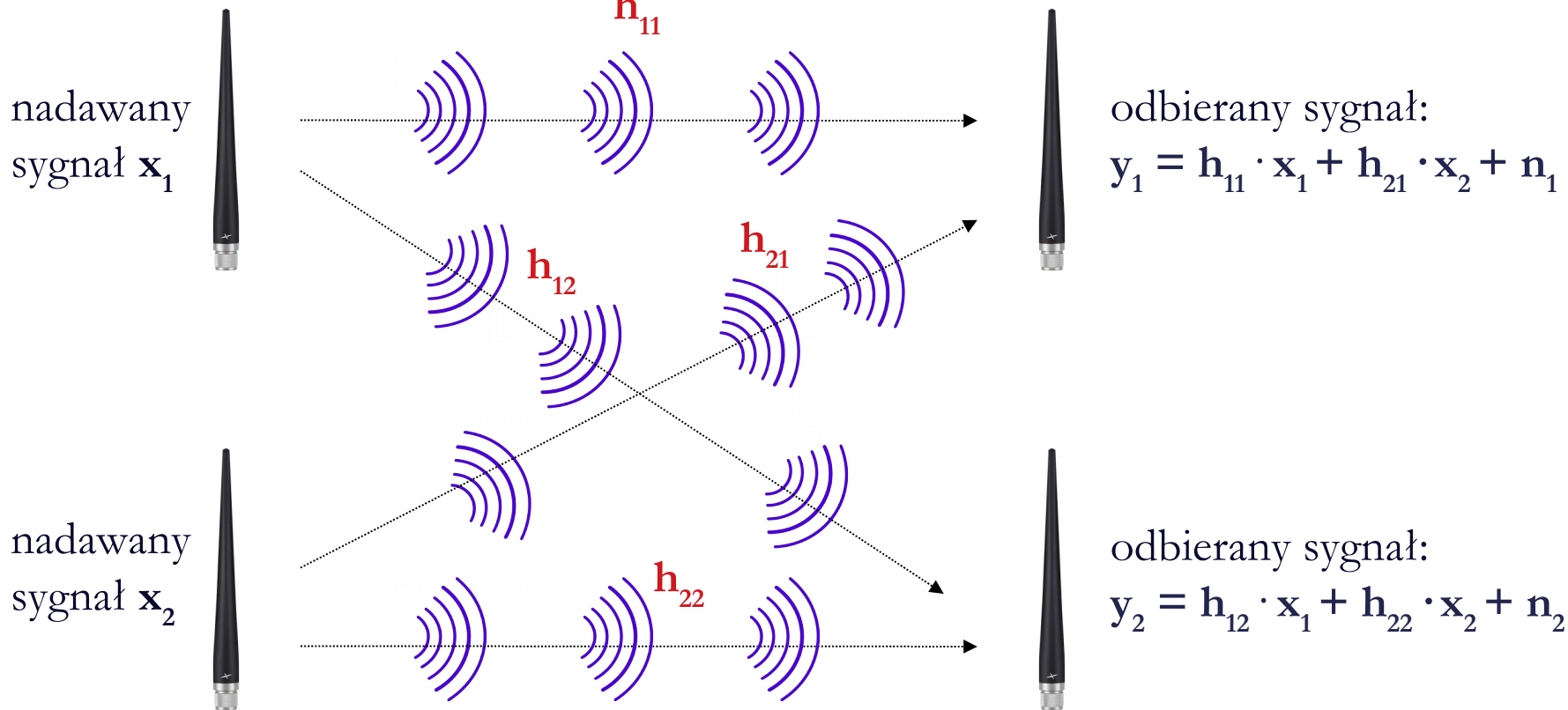


System wieloantenowy MIMO (n,m)



System wieloantenny MIMO

transmitancje kanałów radiowych:



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



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

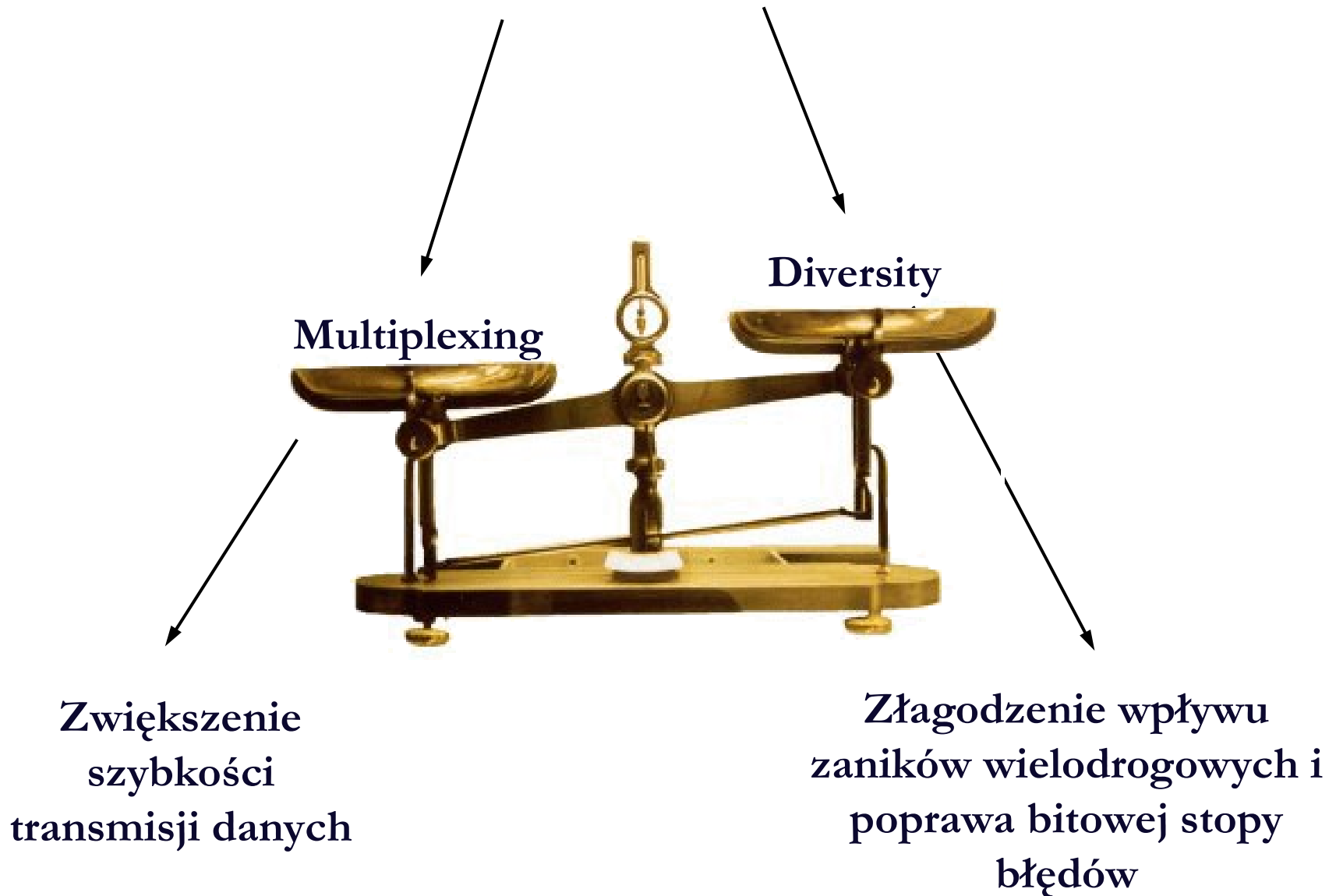
W praktyce, stosowane są dekodery dedykowane dla systemów MIMO, takie jak:

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



Dla systemu MIMO (n,m) szybkość transmisji może wzrosnąć nawet **[min(n,m)]-krotnie** w porównaniu z systemem (1,1)

Korzyści systemów MIMO



Sieci 5G: koncepcja **Massive MIMO**



Massive MIMO (n,K)

n użytkowników



Stacja bazowa:
K elementów
antenowych

- nawet 100 i więcej elementów antenowych po stronie stacji bazowej
- możliwość jednoczesnego dekodowania wielu strumieni danych (uplink)
- niwelowanie interferencji pochodzących od użytkowników, których dane zostały już zdekodowane - Successive Interference Cancellation



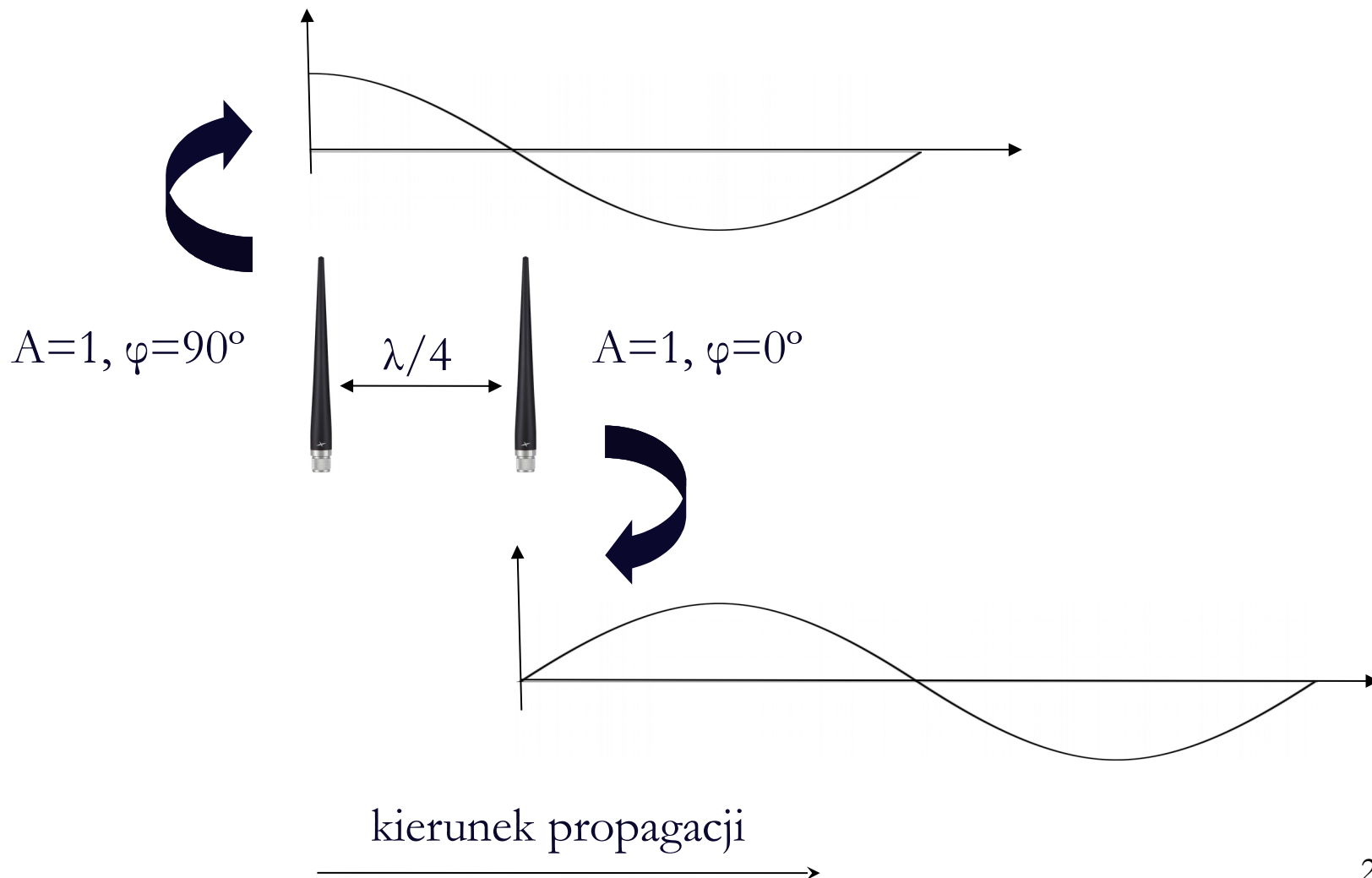
Beamforming



© techstoic.blogspot.com

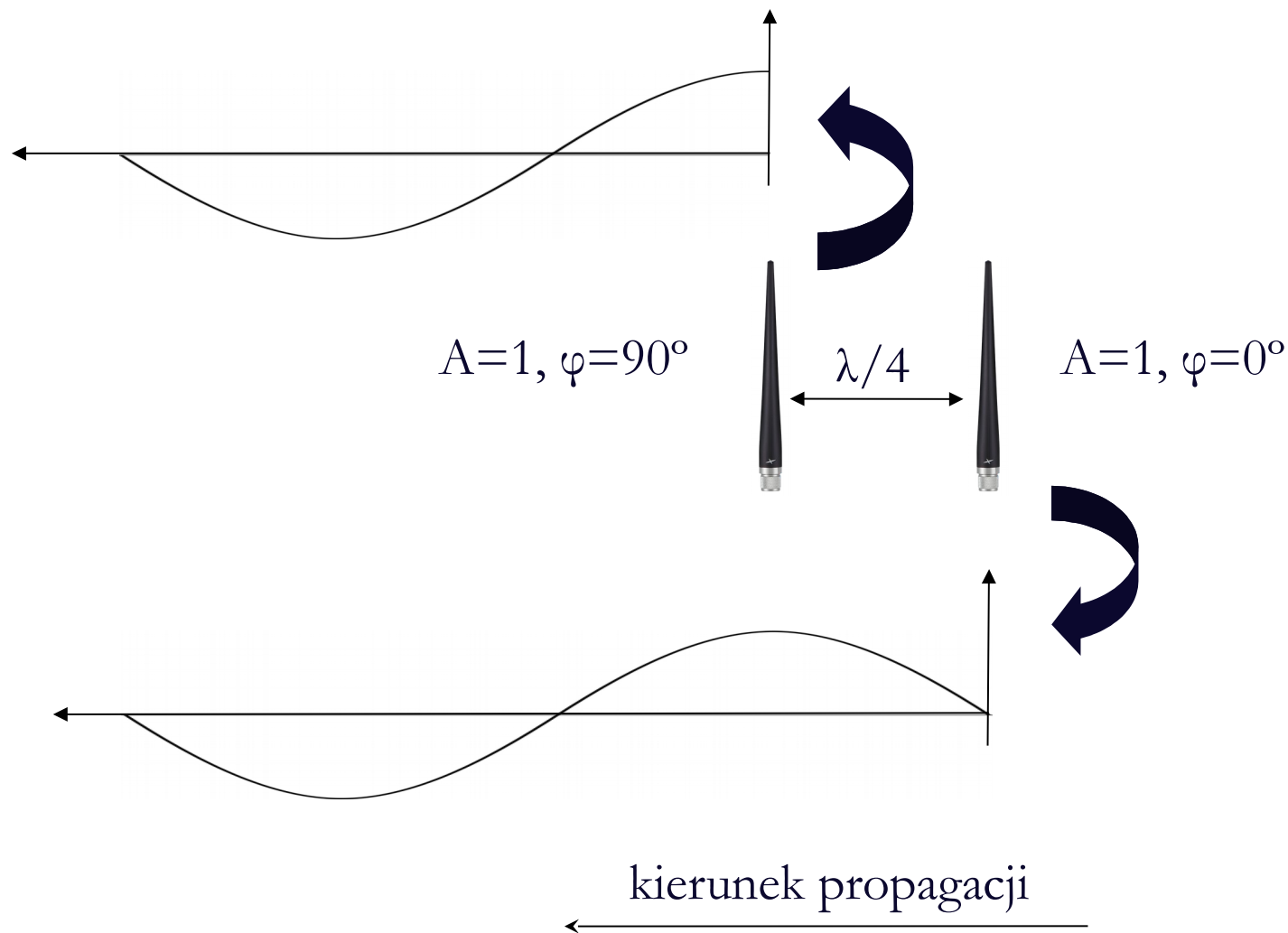
Układy anten / ant. inteligentne / beamforming

Kształtowanie charakterystyk promieniowania:

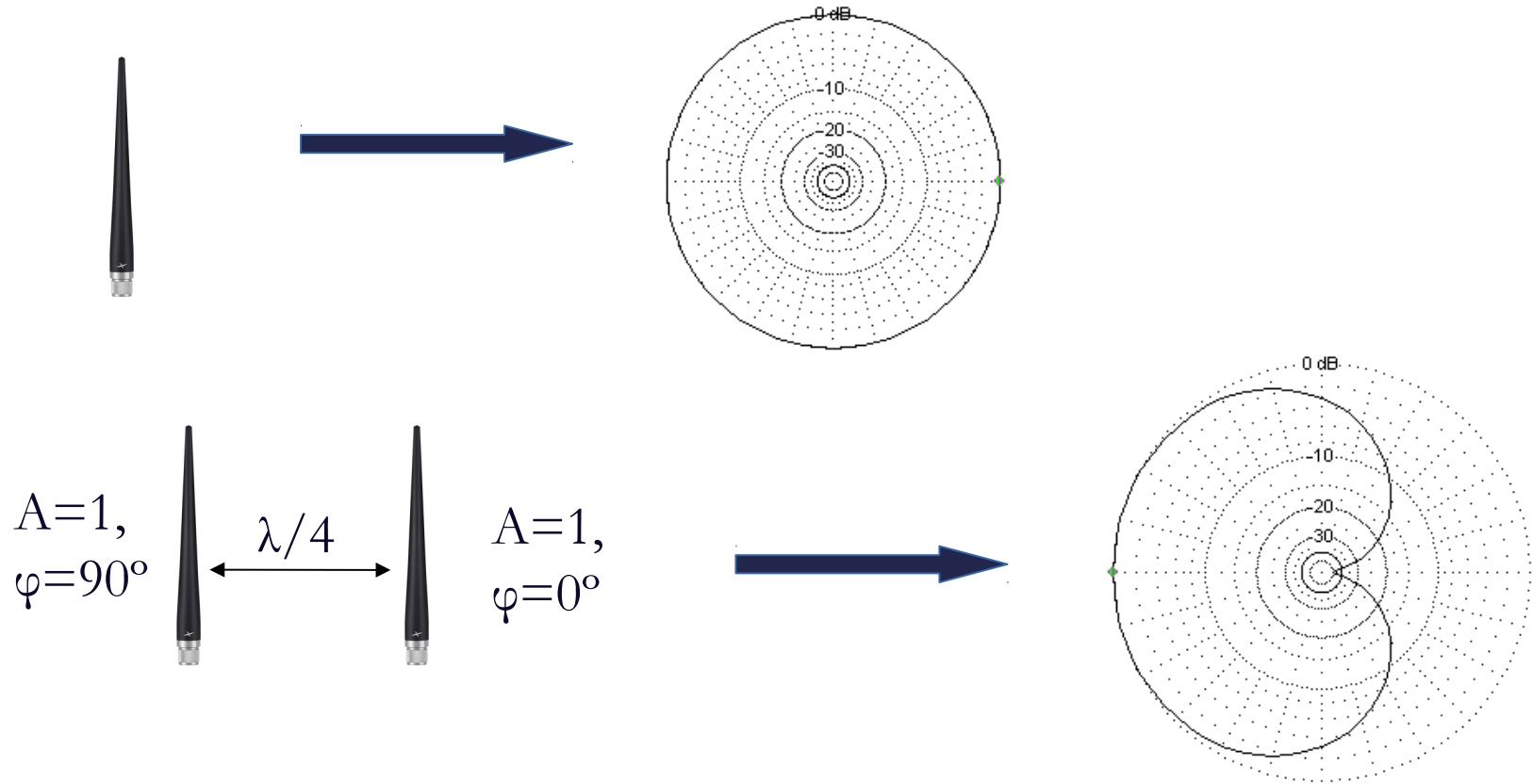


Układy anten / ant. inteligentne / beamforming

Kształtowanie charakterystyk promieniowania:



Układy anten / ant. inteligentne / beamforming



- wybór położenia zer i maksimum charakterystyk
- poprawa maksymalnego zysku kierunkowego
- niwelowanie niepożądanych sygnałów zakłócających

Sieci 5G: koncepcja orthogonal beamforming

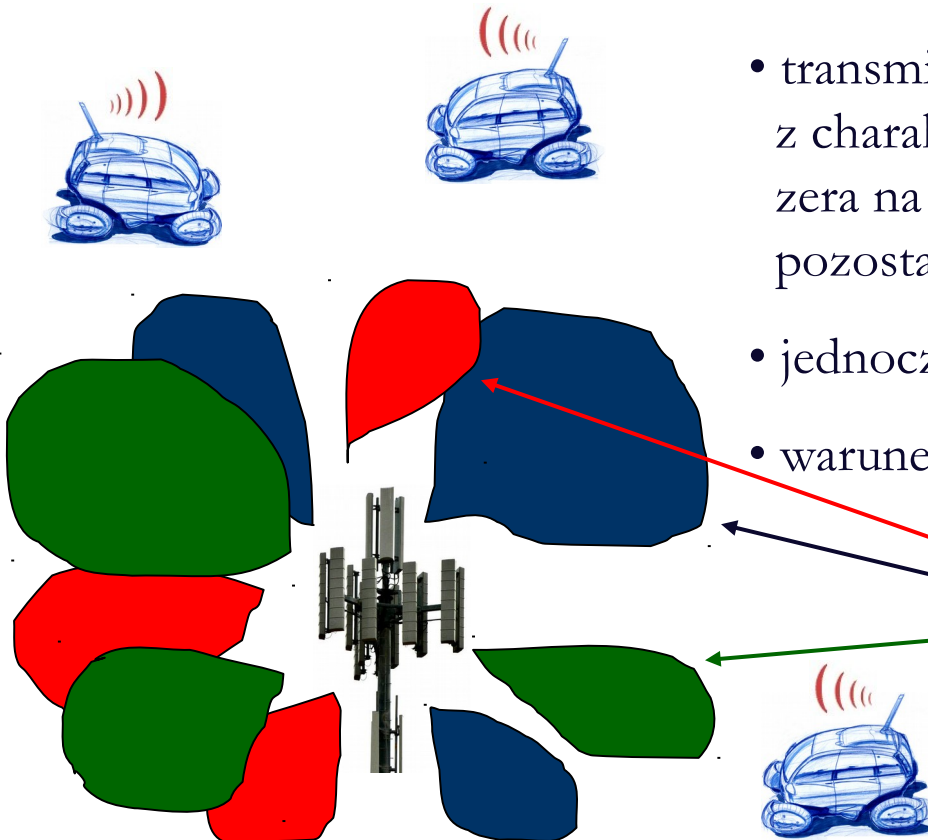
Zgodnie z teorią budowy anten:

Charakterystykę anteny o n elementach można zaprojektować w taki sposób, aby miała $n-1$ zer na dowolnie wybranych kierunkach.

Technika orthogonal beamforming:

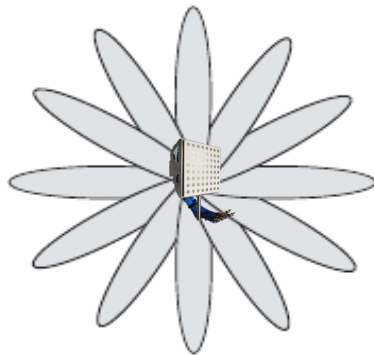
- transmisja sygnału danego użytkownika z charakterystyką antenową posiadającą zera na kierunkach, gdzie znajdują się pozostali użytkownicy
- jednoczesna łączność z n użytkownikami
- warunek: kompletna CSI na stacji bazowej

charakterystyki antenowe
w łączności z trzema użytkownikami

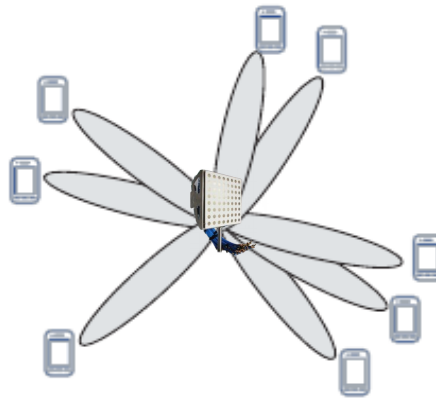


Beamforming w sieciach 5G

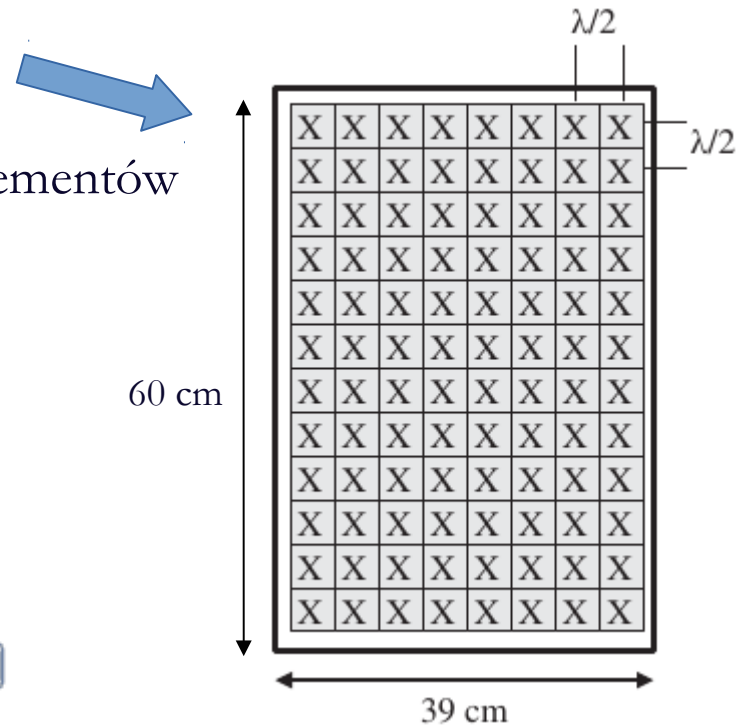
- 3GPP (organizacja standaryzująca sieci 5G) nie definiuje algorytmów formowania wiązek antenowych
- typowa konfiguracja układu Massive MIMO dla pasma 3.5 GHz:
8 kolumn \times 12 rzędów \times 2 polaryzacje = 192 elementów
- przykładowe konfiguracje pracy układów anten na stacjach bazowych:



grid of beams



user-specific beams



© H.Holma, A.Toskala, T.Nakamura

Anteny stacji bazowych



© rfwireless-world.com

Take-away messages:

1. Anteny: nadają/odbierają sygnały

(diagram kierunkowy, zysk, kąt połowy mocy)

2. MIMO (dużo anten w Tx i Rx):

możliwość większych przepustowości

albo zabezpieczenia transmisji

3. Beamforming:

kształtowanie charakterystyk **układu anten**

– wzmocnienie/wytłumienie sygnału na wybranych kierunkach

Dziękuję!