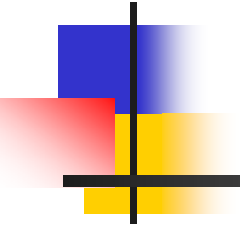


Propagacja fal w środowisku mobilnym





Spektrum fal radiowych

Podział spektrum fal radiowych

Napisał SP8QED

Sunday, 06 March 2005

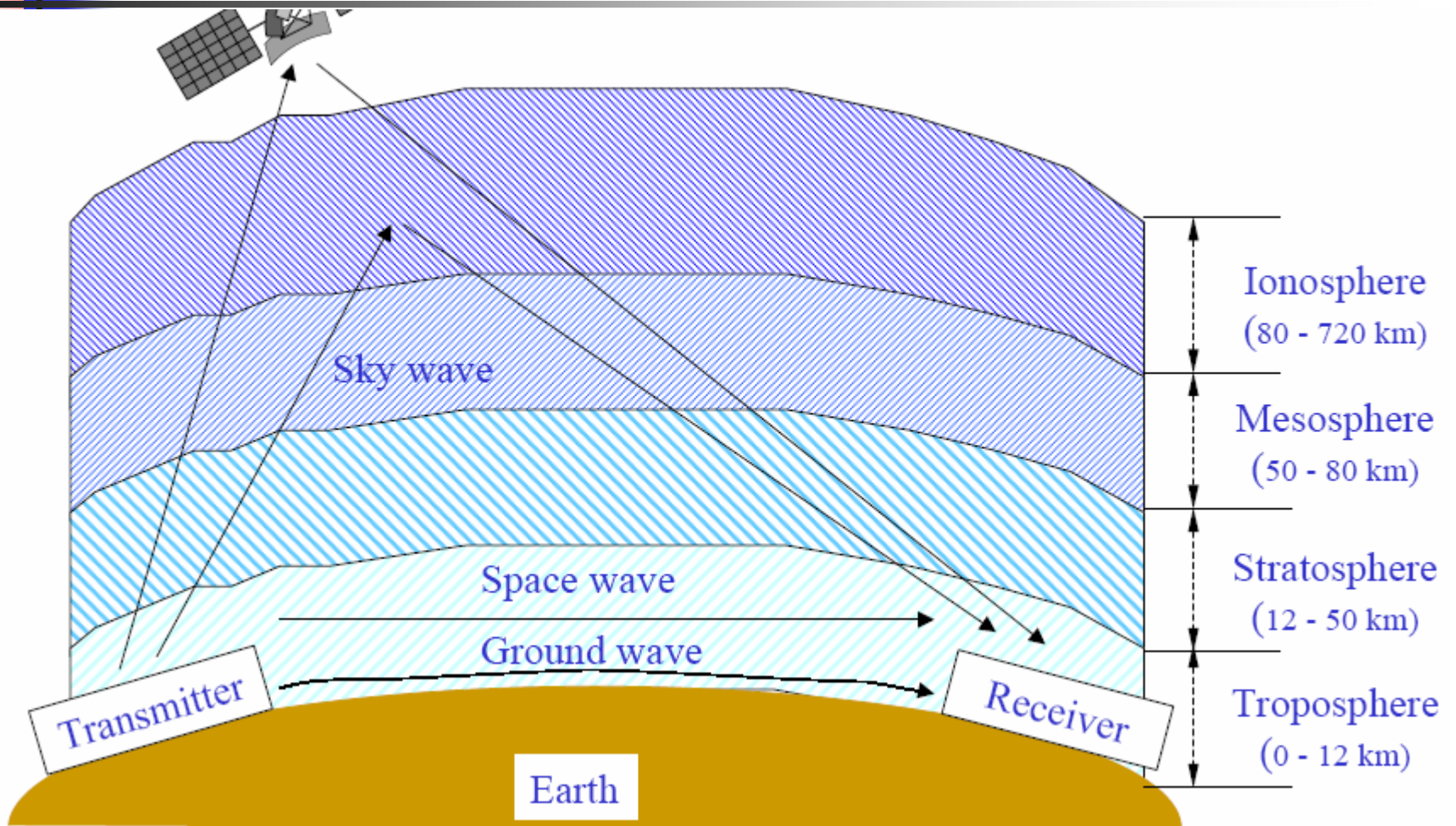
od	do	długość fal	nazwa i oznaczenie międzynarodowe	inne oznaczenia	nazwa i oznaczenie polskie
3Hz	30Hz	100 tys. km-10 tys. km	ULF ultra low frequency		
30Hz	300Hz	10 tys. km-1 tys. km	ELF extremely low frequency		
300Hz	3000Hz	1000km-100km	VF voice frequency		
3kHz	30kHz	100km-10km	VLF very low frequency		fale b. długie, fale myriametrowe
30kHz	300kHz	10km-1km	LF low frequency	LW - long wave	fale długie, fale kilometrowe
300kHz	3MHz	1000m-100m	MF medium frequency	MW - medium wave	fale średnie, fale hektometrowe
3MHz	30MHz	100m-10m	HF high frequency	KW - ?	fale krótkie, fale dekametrowe, KF
30MHz	300MHz	10m-1m	VHF very high frequency		UKF fale ultrakrótkie, fale metrowe
300MHz	3GHz	100cm-10cm	UHF ultra high frequency		fale decymetrowe
3GHz	30GHz	10cm-1cm	SHF super high frequency		fale centymetrowe
30GHz	300GHz	10mm-1mm	EHF extremely high frequency		fale milimetrowe

Prędkość, długość, częstotliwość fali

- Prędkość światła = długość fali x częstotliwość =
= $3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s}$

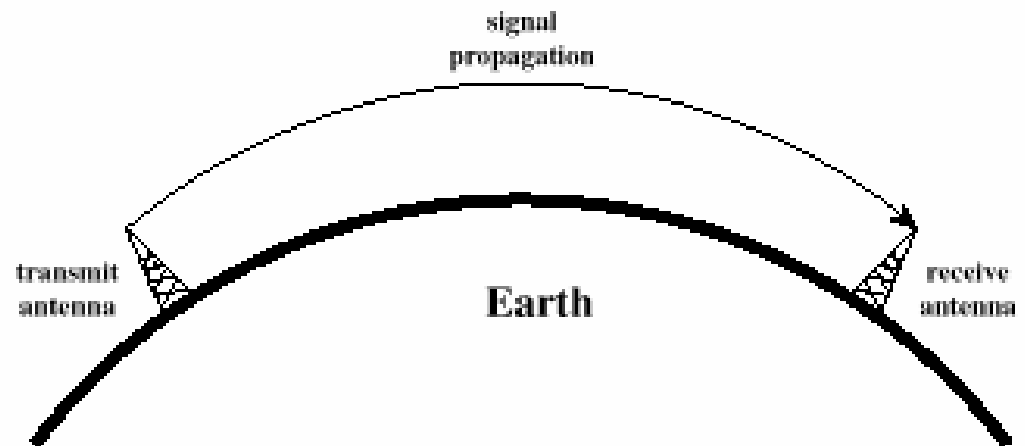
System	Frequency	Wavelength
AC current	60 Hz	5,000 km
FM radio	100 MHz	3 m
Cellular	800 MHz	37.5 cm
Ka band satellite	20 GHz	15 mm
Ultraviolet light	10^{15} Hz	10^{-7} m

Typy fal



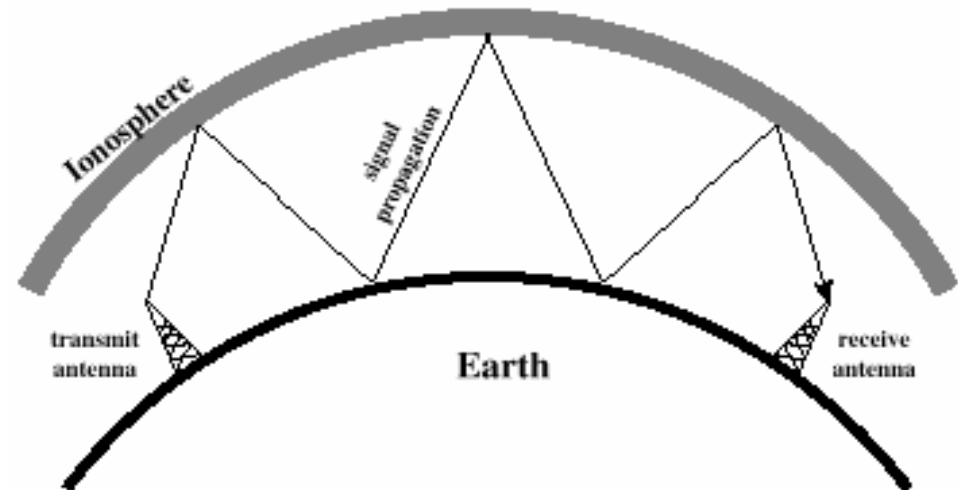
Propagacja fali przyziemnej (Ground Wave)

- Rozprzestrzenia wzdłuż konturów powierzchni Ziemi
- Może być propagowana na znaczne odległości
- częstotliwości aż do 2 MHz
- Np.
 - AM radio



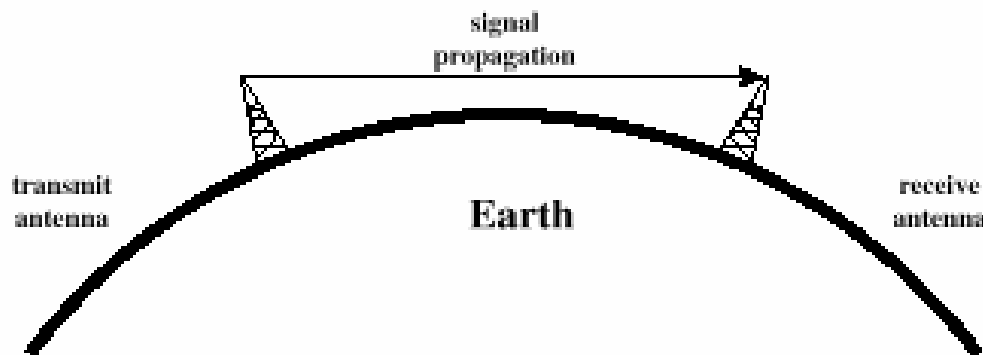
Propagacja fali jonosferycznej (sky wave)

- Sygnał odbijany od zjonizowanego poziomu atmosfery do powierzchni Ziemi
- Sygnał może wykonać pewną liczbę skoków, tam i z powrotem między jonosferą i powierzchnią Ziemi
- Efekt odbicia jest spowodowany załamaniem fali
- Np.
 - Radio amatorskie
 - CB radio



Propagacja w linii widoczności (Line-of-Sight, LOS)

- Antena nadająca i antena odbiorcza muszą być w linii pola widzenia (dla fal powyżej 30 MHz)
- Załamanie
 - Fale mikrofalowe uginają się lub załamują w atmosferze
 - Prędkość fali elektromagnetycznej jest funkcją gęstości medium
 - Gdy fala zmienia medium, zmienia się jej prędkość
 - Fale uginają się lub załamują się na granicy między jednym i drugim medium



Zakresy fal radiowych

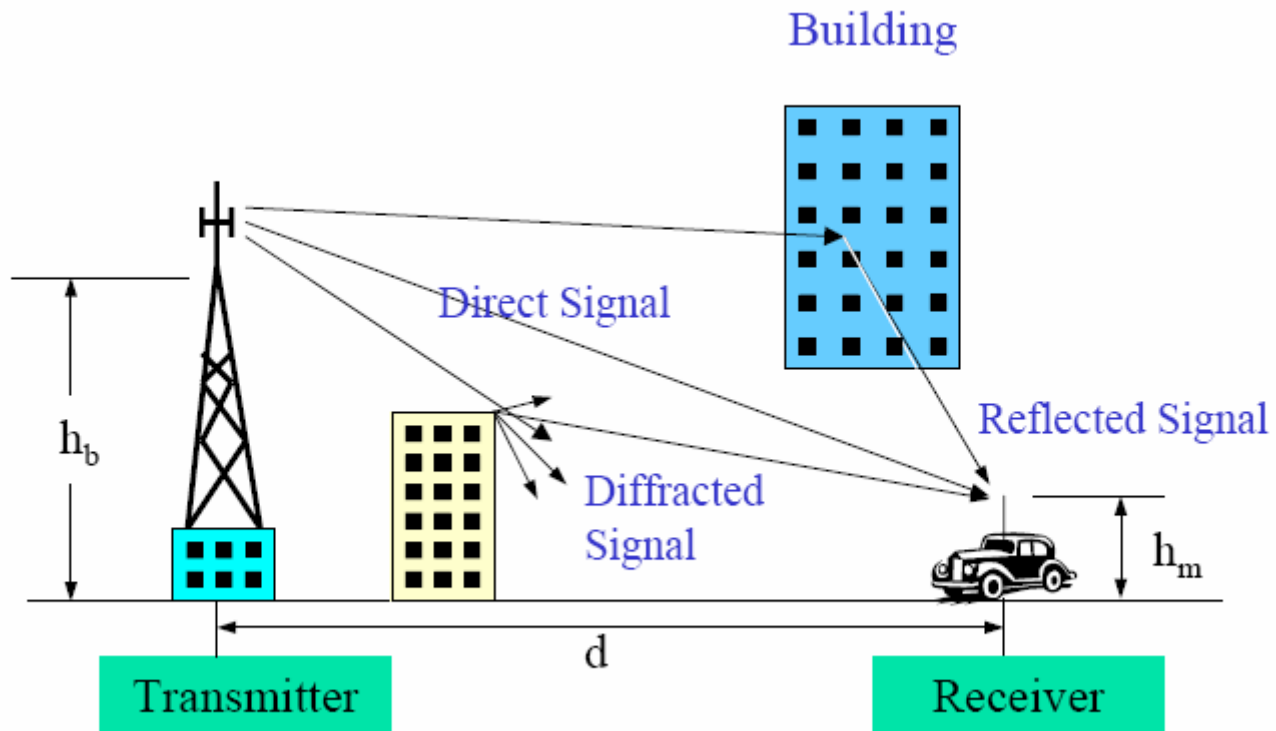
Classification Band	Initials	Frequency Range	Characteristics
Extremely low	ELF	< 300 Hz	
Infra low	ILF	300 Hz ~ 3 kHz	
Very low	VLF	3 kHz ~ 30 kHz	
Low	LF	30 kHz ~ 300 kHz	Surface/ground wave
Medium	MF	300 kHz ~ 3 MHz	
High	HF	3 MHz ~ 30 MHz	Sky wave
Very high	VHF	30 MHz ~ 300 MHz	Space wave
Ultra high	UHF	300 MHz ~ 3 GHz	
Super high	SHF	3 GHz ~ 30 GHz	
Extremely high	EHF	30 GHz ~ 300 GHz	Satellite wave
Tremendously high	THF	300 GHz ~ 3000 GHz	



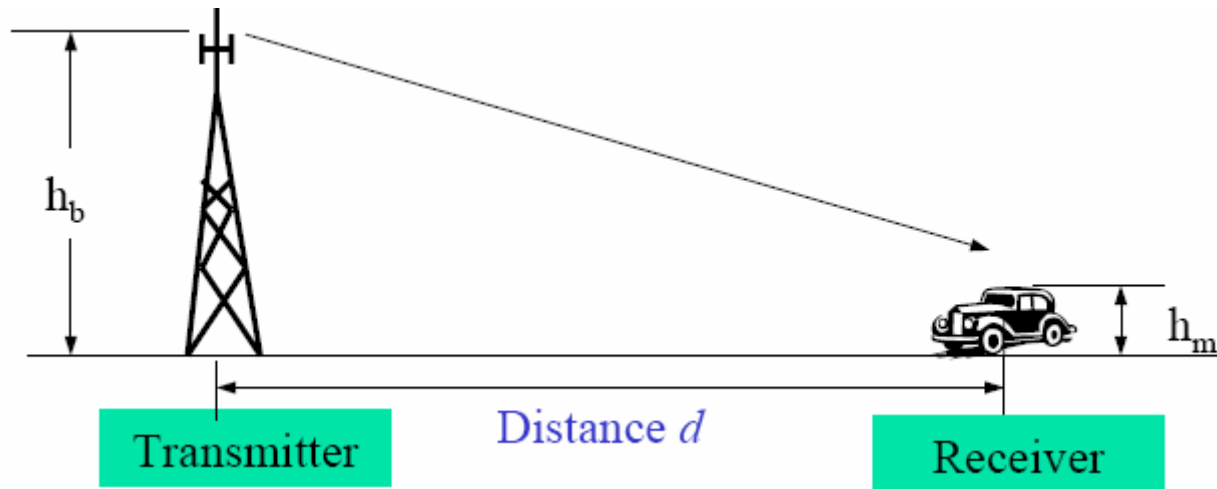
Mechanizmy propagacji

- odbicie
 - Na propagację fali wpływają obiekty, które są duże w porównaniu z długością fali
 - np. powierzchnia Ziemi, budynki, ściany, itp.
- Załamanie
 - Na drogę radiową między nadajnikiem i odbiornikiem mają wpływ kształty z ostrymi nieregularnymi krawędziami
 - Fale uginają się w pobliżu przeszkód gdy tylko obok nich przechodzą
- Rozproszenie
 - Obiekty mniejsze niż długość fali
 - np. liście, znaki drogowe, lampy

Efekty propagacji radiowej



Propagacja w próżni



- Moc sygnału otrzymanego w odległości d :

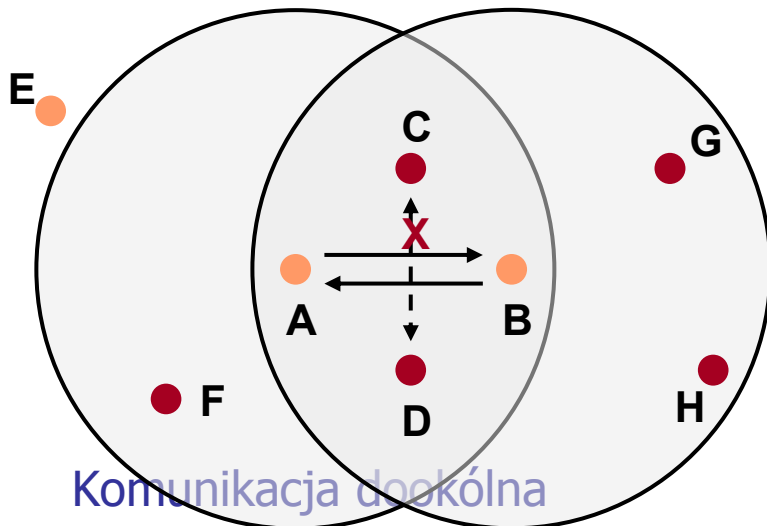
$$P_r = \frac{A_e G_t P_t}{4\pi d^2}$$

gdzie P_t jest transmitowaną mocą, A_e jest efektywnym obszarem, a G_t jest zyskiem anteny

Anteny

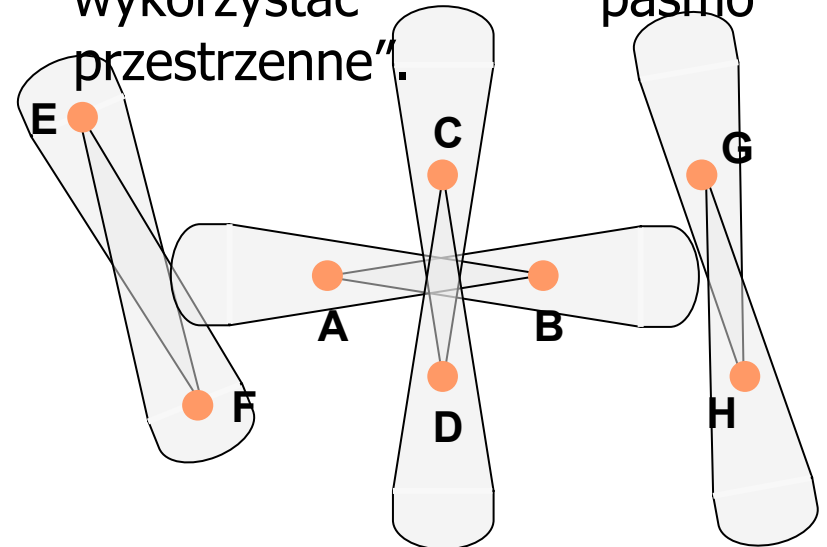
Dookólna (Omnidirectional) Antena – niska wydajność w bezprzewodowych sieciach ad hoc z powodu ograniczonych możliwości wykorzystania przestrzeni.

● **Węzły w strefie ciszy**



Komunikacja dookólna

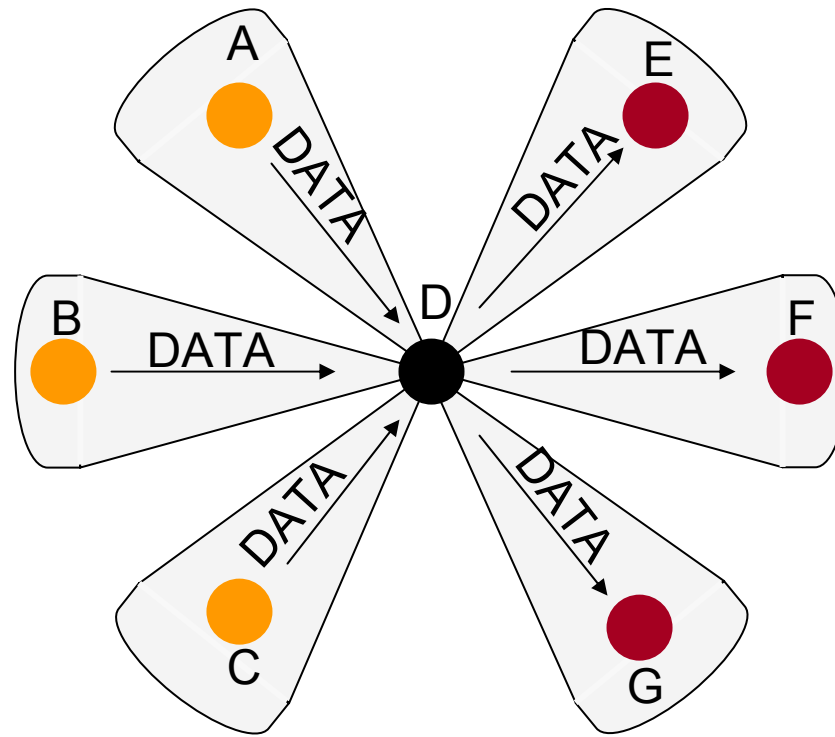
Antena kierunkowa – lepsze możliwości wykorzystania przestrzeni. Ale węzeł w dalszym ciągu nie jest w stanie całkowicie wykorzystać "pasmo przestrzenne".



Komunikacja kierunkowa

Anteny wielokierunkowe

- Określane również jako **Multiple Beam Antenna Array (MBAA)** – wykorzystuje w pełni pasmo przestrzenne.
- węzeł może inicjować więcej niż jedna jednoczesnych transmisji (lub odbiorów).





Zysk anteny

- Jest miarą kierunkowości anteny; jest określany przez moc wyjściową w specyficznym kierunku porównywaną do mocy produkowanej we wszystkich kierunkach przez doskonałą antenę dookólną
- Dla kołowej reflektorowej anteny zysk G anteny:

$$G = \eta (\pi D f / c)^2, \quad c = \lambda f$$

η = współczynnik efektywności (zależy od rozkładu pola elektrycznego, strat, itp., zwykle 0.55)

D = średnica

tak więc, $G = \eta (\pi D / \lambda)^2$ (c - prędkość światła)

Przykład:

- Antena ze średnicą $D=2$ m, częstotliwość $f=6$ GHz, długość fali $=0.05$ m, $G=39.4$ db
- Częstotliwość $=14$ GHz, $D=2$, długość fali $=0.021$ m, $G=46.9$ db
- ❖ Im wyższa częstotliwość tym wyższy zysk dla anteny tego samego rozmiaru

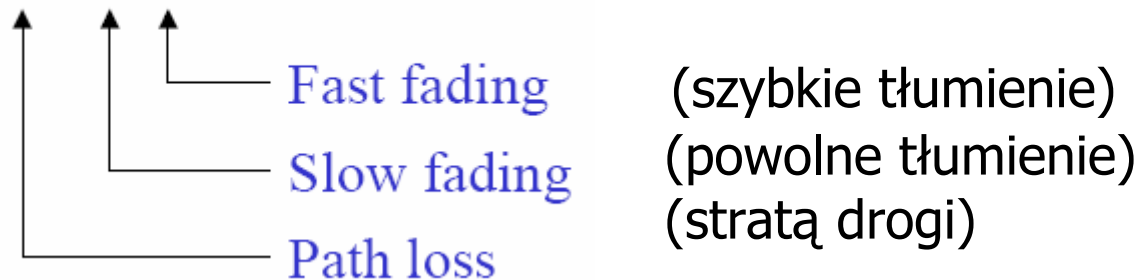
Propagacja naziemna

- Moc otrzymanego sygnału:

$$P_r = \frac{G_t G_r P_t}{L}$$

gdzie G_r jest zyskiem anteny odbiornika,
 L jest stratą propagacji w kanale,
tzn.

$$L = L_p L_S L_F$$





Strata mocy (path loss) w próżni

- Jest to wielkość mocy utraconej w przestrzeni
- Definicja utraty mocy L_p :

$$L_P = \frac{P_t}{P_r},$$

Strata mocy w próżni:

$$L_{PF} (dB) = 32.45 + 20 \log_{10} f_c (MHz) + 20 \log_{10} d (km),$$

gdzie f_c jest częstotliwością nośną.

Widać, że im większa f_c tym większa jest strata mocy



Strata odległościowa (path loss) w próżni

- Prosta formuła:

$$L_p = A d^{-\alpha}$$

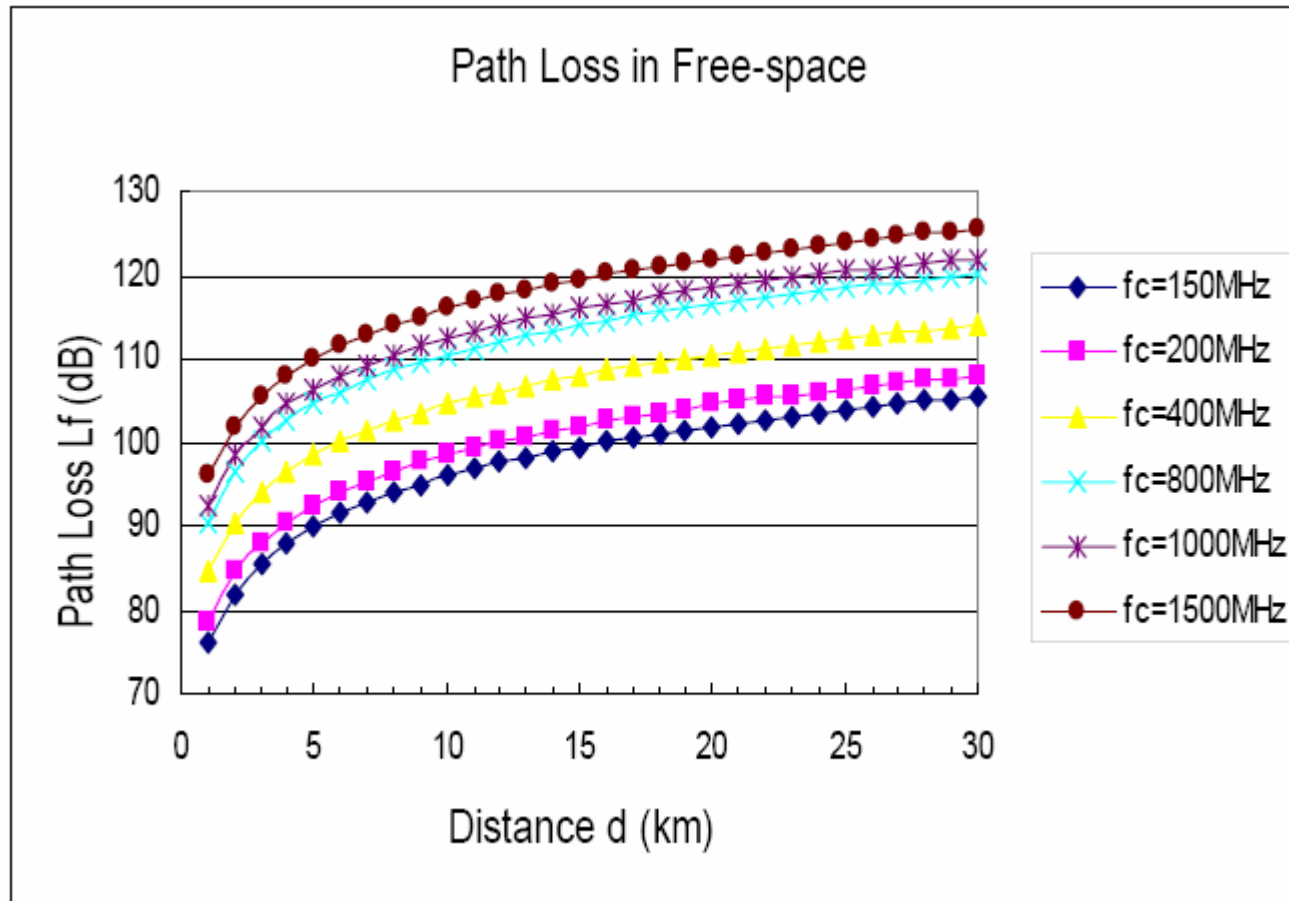
gdzie

A i α : stałe propagacji

d : odległość między nadajnikiem i odbiornikiem

α : ma wartość $3 \sim 4$ w typowym miejskim obszarze

Przykład strat odległościowych (w próżni)



Strata odległościowa (obszar miejski (urban), podmiejski (suburban), otwarty (open))

- Urban area:

$$L_{PU}(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c(MHz) - 13.82 \log_{10} h_b(m) - \alpha [h_m(m)] + [44.9 - 6.55 \log_{10} h_b(m)] \log_{10} d(km)$$

where

$$\alpha [h_m(m)] = \begin{cases} [1.11 \log_{10} f_c(MHz) - 0.7] h_m(m) - [1.56 \log_{10} f_c(MHz) - 0.8], & \text{for large city} \\ \left. \begin{aligned} &8.29 [\log_{10} 1.54 h_m(m)]^2 - 1.1, & \text{for } f_c \leq 200 MHz \\ &3.2 [\log_{10} 11.75 h_m(m)]^2 - 4.97, & \text{for } f_c \geq 400 MHz \end{aligned} \right\}, & \text{for small \& medium city} \end{cases}$$

- Suburban area:

$$L_{PS}(dB) = L_{PU}(dB) - 2 \left[\log_{10} \frac{f_c(MHz)}{28} \right]^2 - 5.4$$

- Open area:

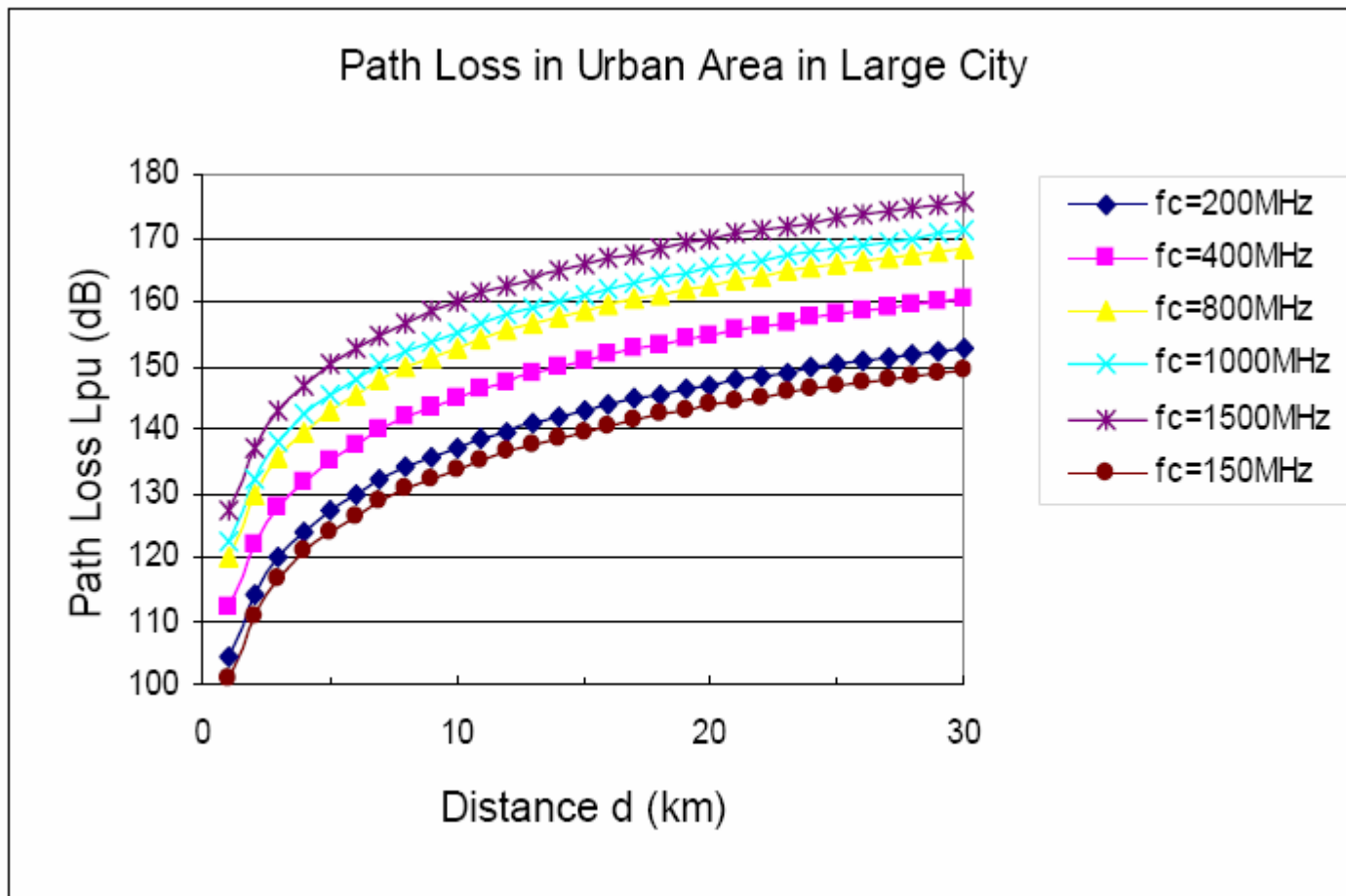
$$L_{PO}(dB) = L_{PU}(dB) - 4.78 [\log_{10} f_c(MHz)]^2 + 18.33 \log_{10} f_c(MHz) - 40.94$$



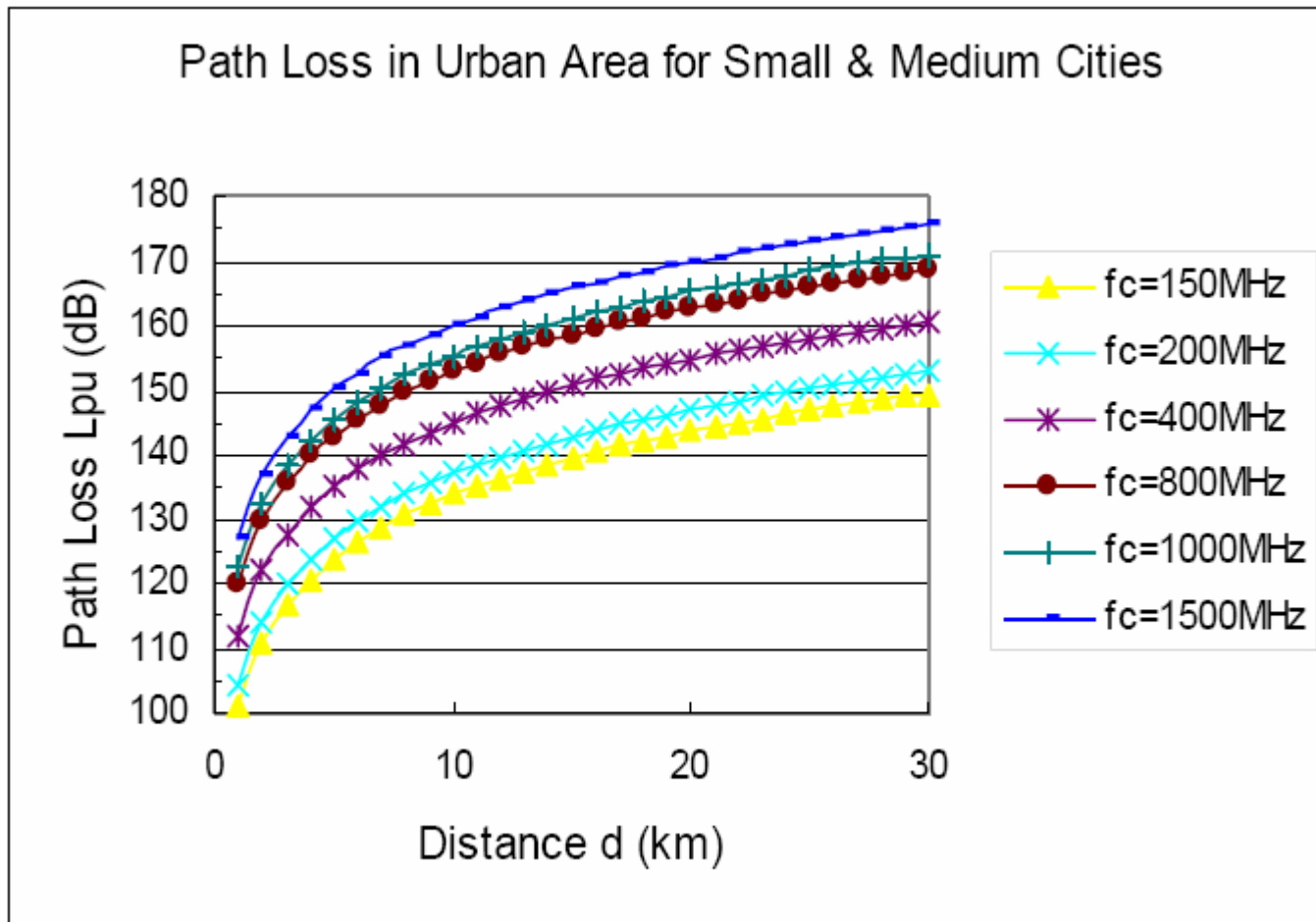
Strata odległościowa

- Straty odległościowe w zmniejszającym się porządku:
 - Obszar miejski (duże miasto)
 - Obszar miejski (średnie i małe miasto)
 - Podmiejski obszar
 - Otwarty obszar

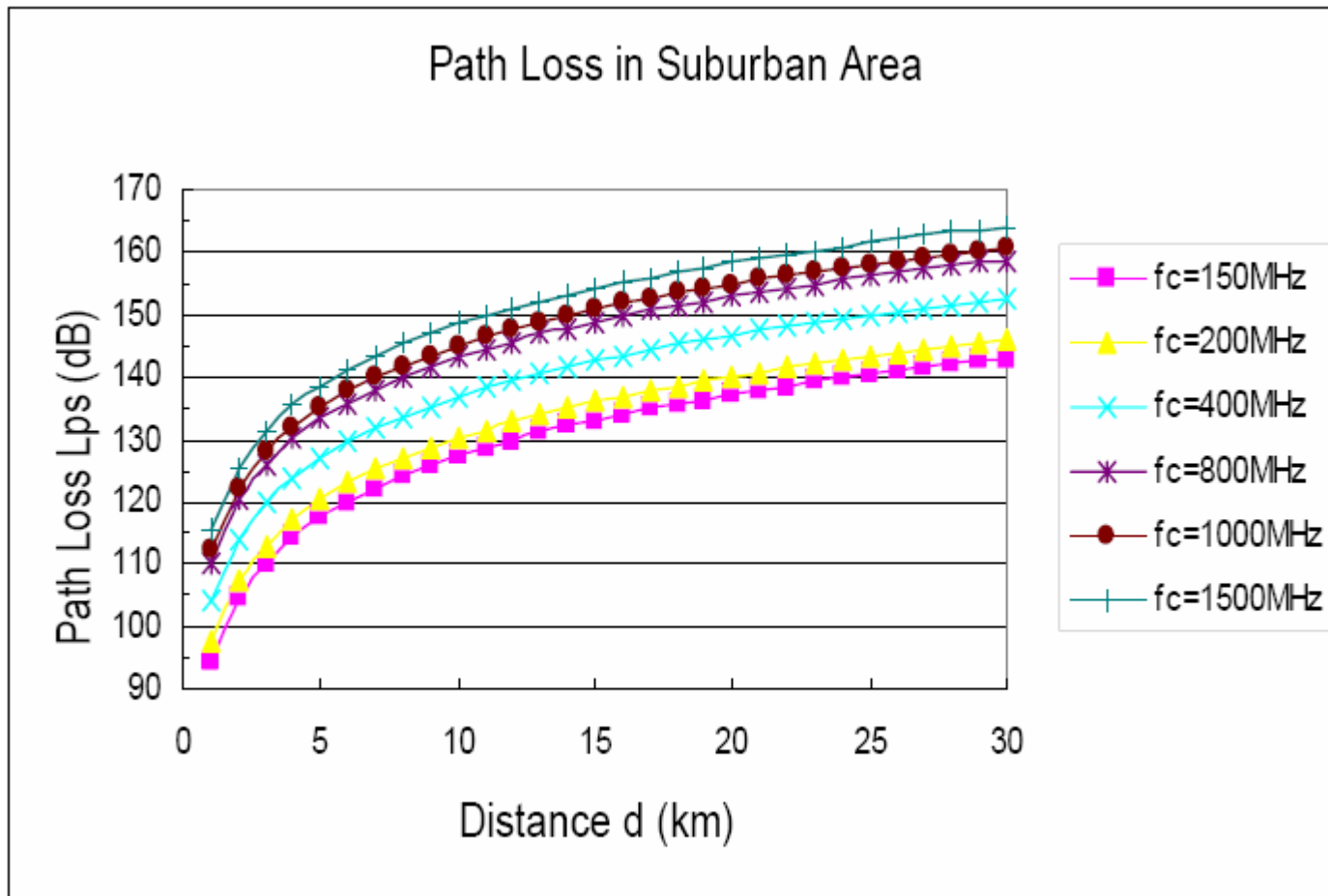
Przykład strat odległościowych (obszar miejski: duże miasto)



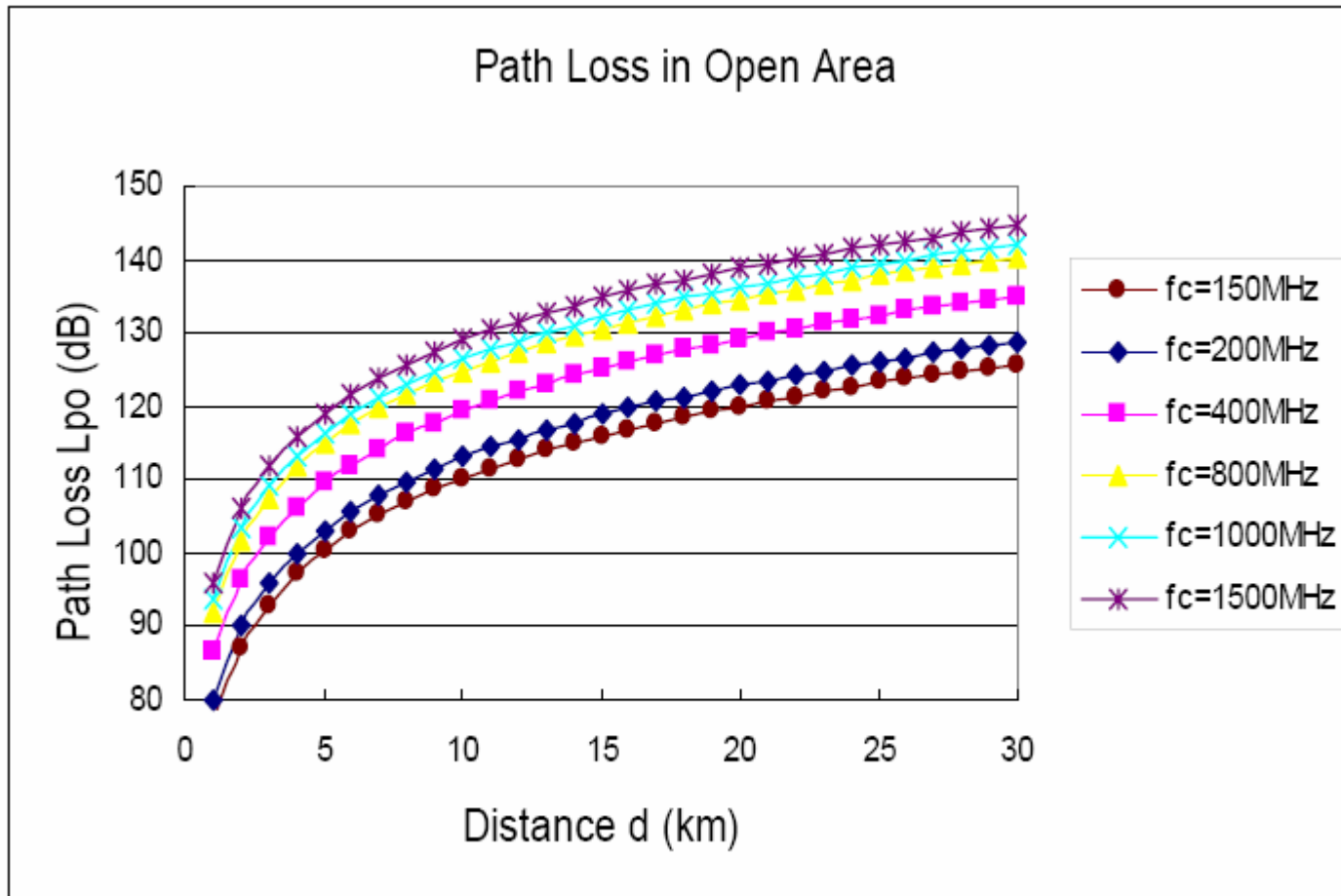
Przykład strat odległościowych (obszar zabudowany: średnie i małe miasta)



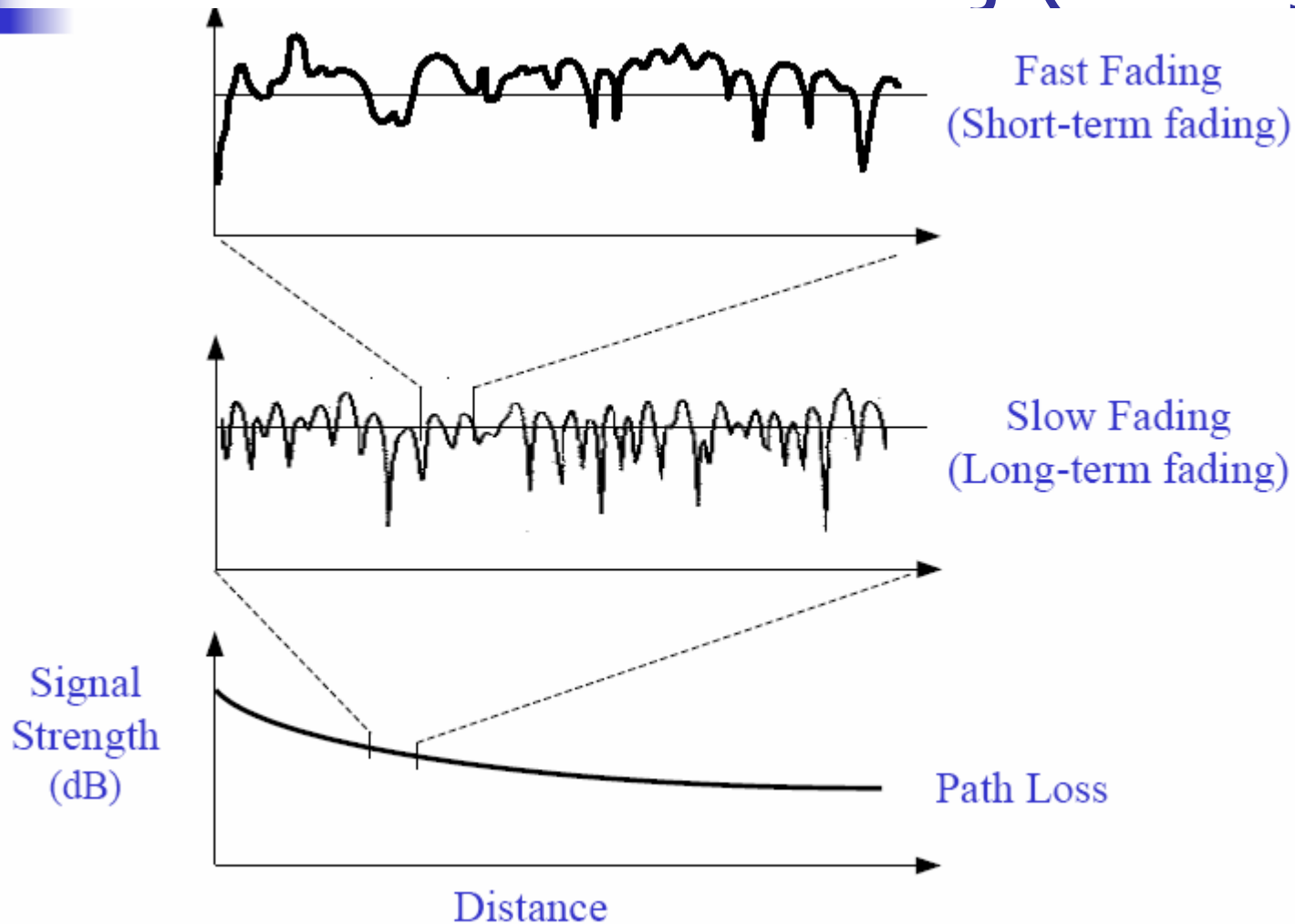
Przykład strat odległościowych (obszar podmiejski)



Przykład strat odległościowych (otwarty obszar)



Tłumienie fali radiowej (fading)





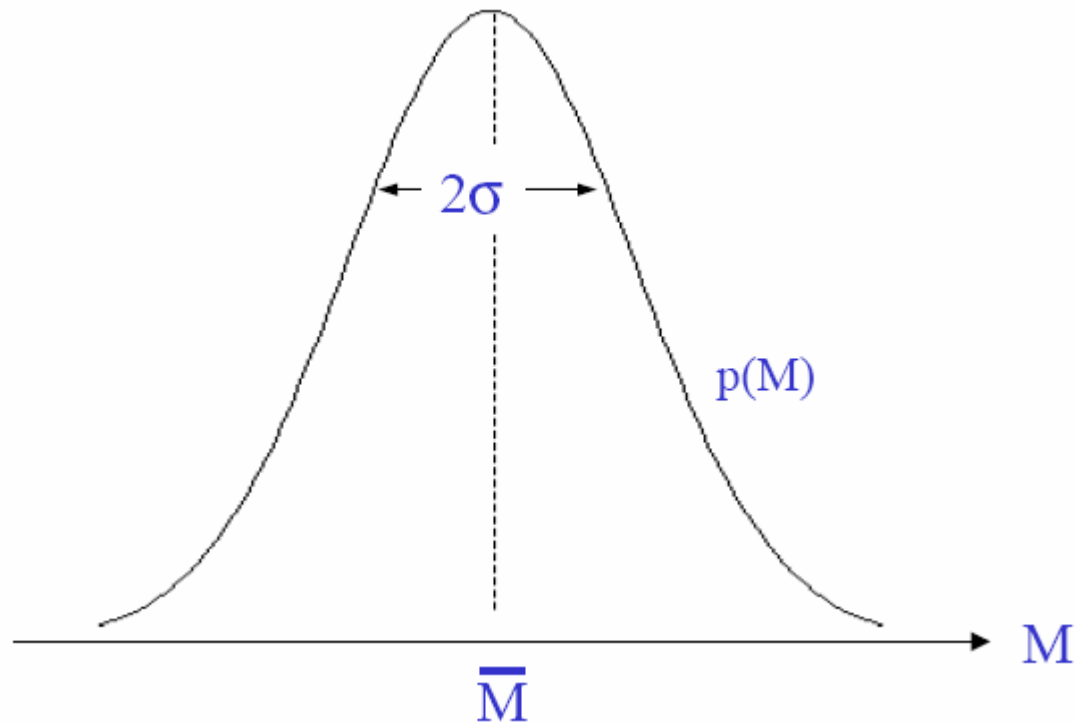
Powolne tłumienie

- Jest spowodowane długoterminowymi przestrzennymi i czasowymi zmianami w odległościach między nadajnikiem i odbiornikiem, które powodują zmiany w średnim poziomie
- Poziom otrzymywanego sygnału określany jest rozkładem log-normal z funkcją rozkładu prawdopodobieństwa

$$p(M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(M-\bar{M})^2}{2\sigma^2}},$$

gdzie M jest faktycznym otrzymanym sygnałem na poziomie m w decybelach (db) (tzn. $M = 10 \log_{10} m$), \bar{M} - średni dla obszaru poziom sygnału, tzn. średnia z M określona na dostatecznie długiej odległości, σ - standardowe odchylenie w decybelach

Rozkład log-normal



Funkcja rozkładu prawdopodobieństwa
otrzymywanego poziomego sygnału



Szybkie tłumienie

- Sygnał z nadajnika może być odbity od takich obiektów jak wzgórza, budynki lub pojazdy
 - gdy MS znajduje się daleko od BS to rozkład otrzymanego sygnału podlega rozkładowi Rayleigh

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad r > 0$$

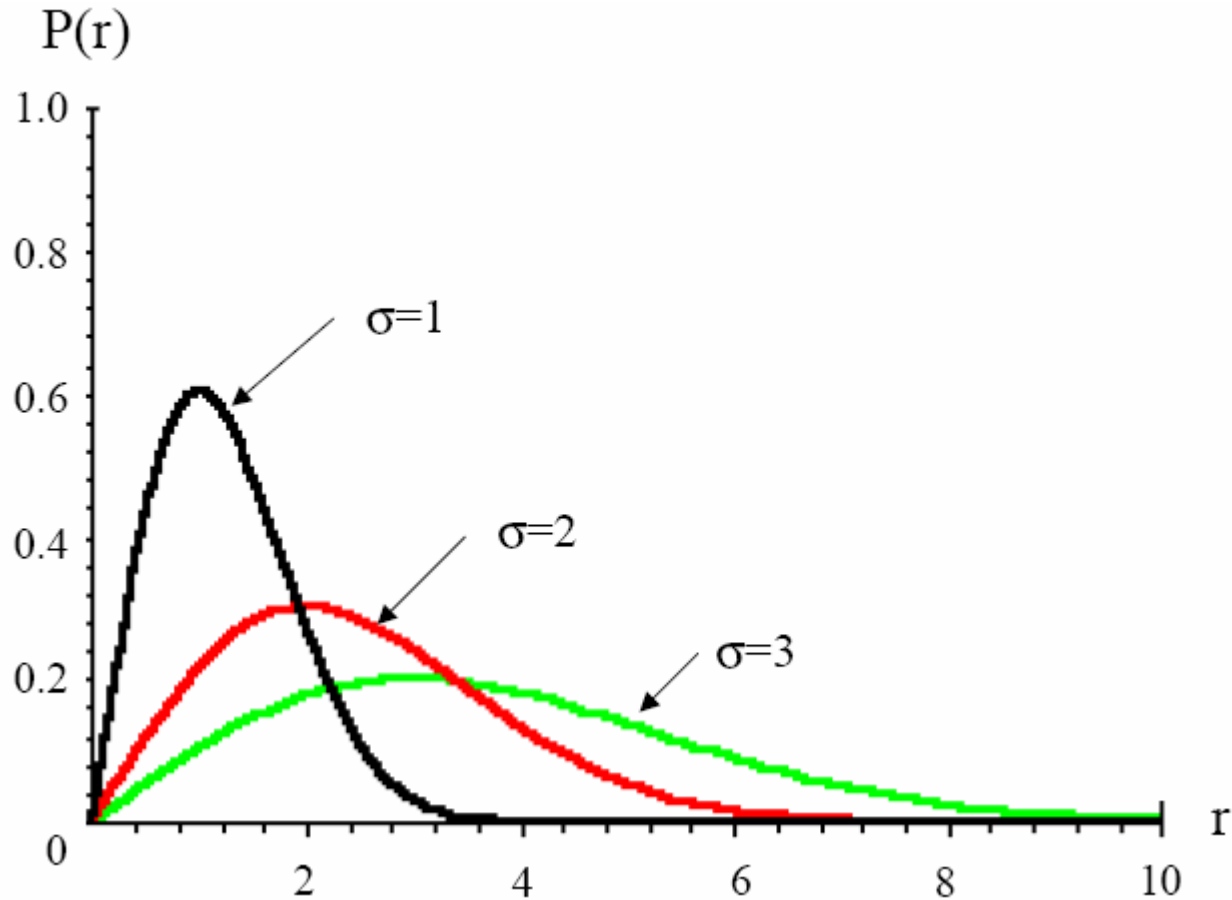
gdzie σ jest standardowym odchyleniem

- Środkowa wartość r_m sygnału wewnątrz przykładowego zakresu powinna spełniać warunek:

$$P(r \leq r_m) = 0.5$$

- To odpowiada $r_m = 1.777\sigma$

Rozkład Rayleigh



Funkcja rozkładu prawdopodobieństwa otrzymywanego poziomemu sygnału



Szybkie tłumienie (cd.)

- Gdy MS jest daleko od BS to krzywa rozkładu otrzymywanego sygnału podlega rozkładowi Rician; jego funkcja rozkładu prawdopodobieństwa:

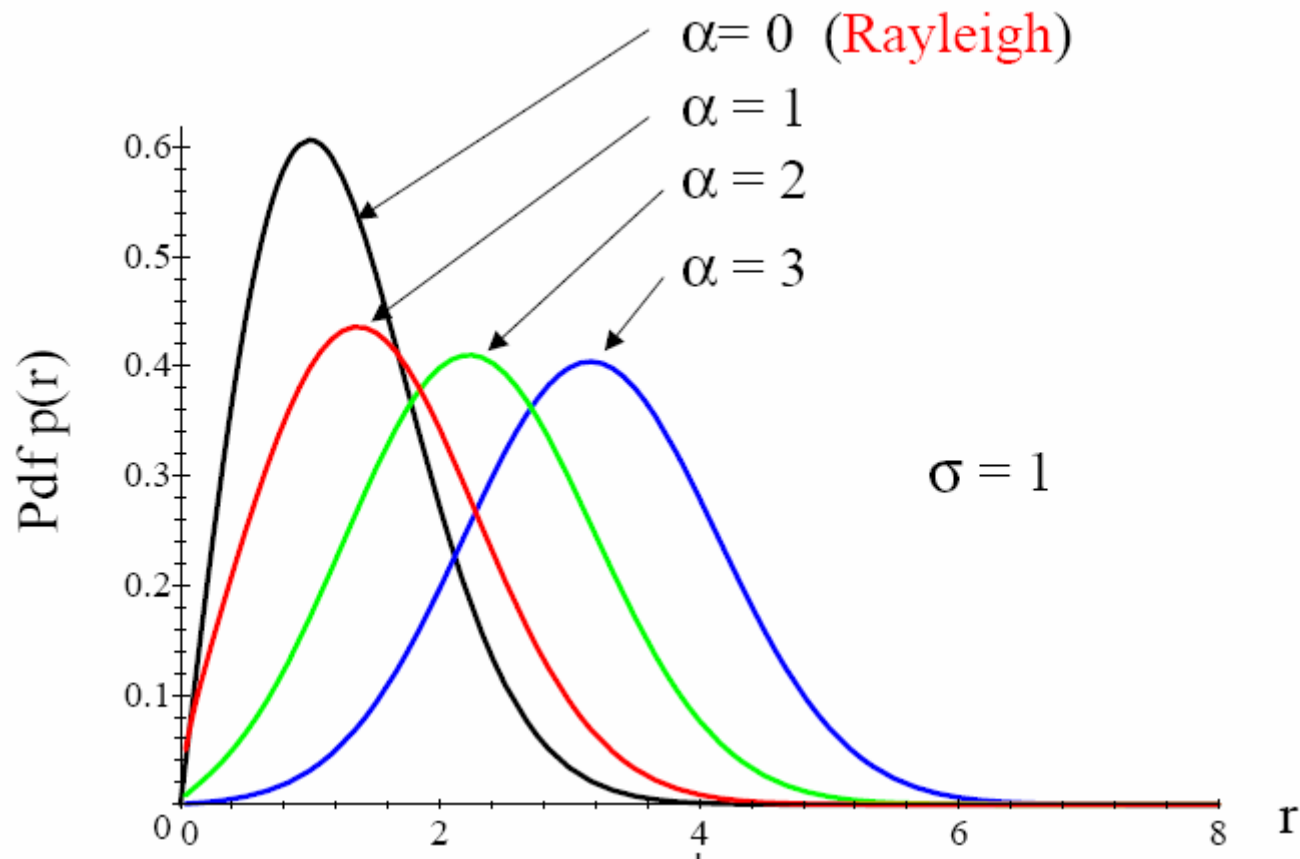
$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2 + \alpha^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{r\alpha}{\sigma}\right), \quad r \geq 0$$

gdzie:

σ - standardowe odchylenie

I_0 - funkcja Bessela zerowego rzędu

Rozkład Rician



Funkcja rozkładu prawdopodobieństwa otrzymywanego poziomu sygnału

Przesunięcie Dopplera

- Effekt Dopplera: gdy fala od nieruchomej BS i odbiornik MS poruszają się naprzeciwko siebie, to częstotliwość otrzymywanego sygnału nie będzie taka sama jak u źródła
- Przesunięcie Dopplera w częstotliwości
 - Gdy oni poruszają się naprzeciw to częstotliwość otrzymywanego sygnału będzie większa niż u źródła
 - Gdy oni oddalają się to częstotliwość się zmniejsza

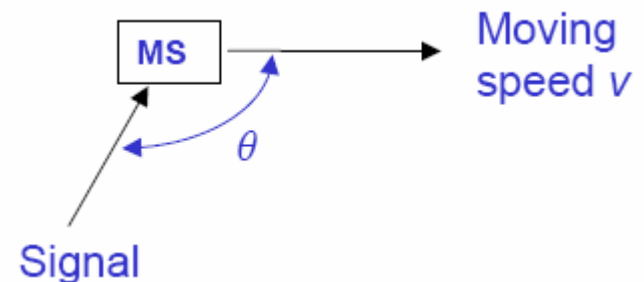
gdzie f_c jest częst $f_R = f_C - f_D$ a źródła,
 f_d jest częstotliwością Dopplera

- Przesunięcie Dopplera w częstotliwości

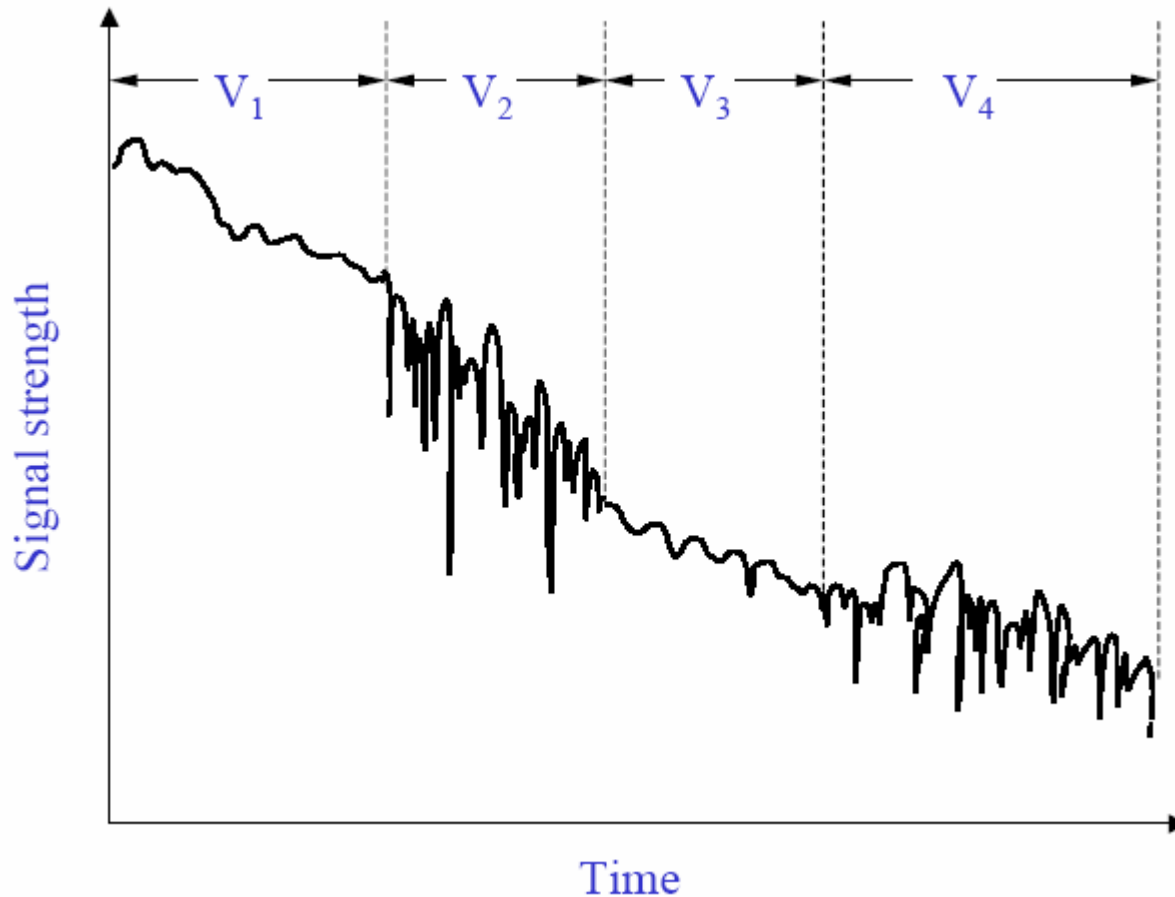
$$f_D = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$

gdzie v jest prędkością MS,

λ jest długością fali nośnika



Efekt poruszającej się prędkości

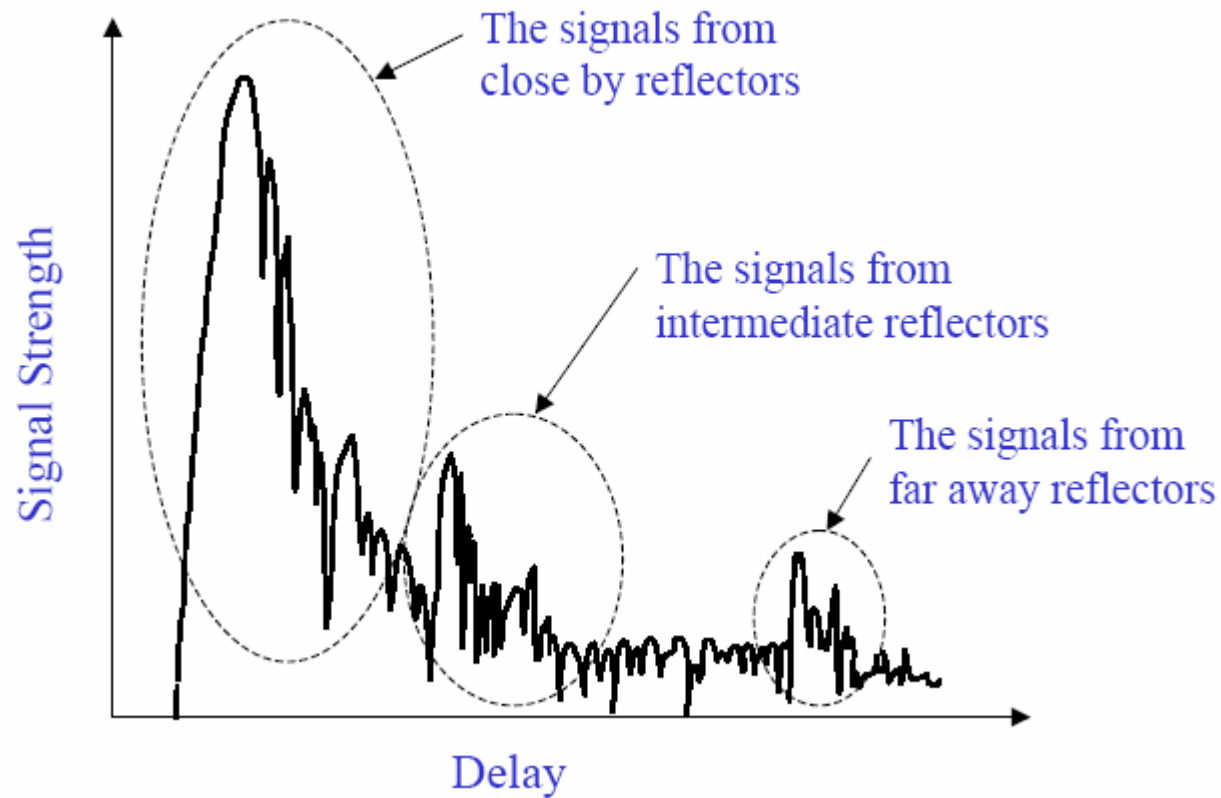




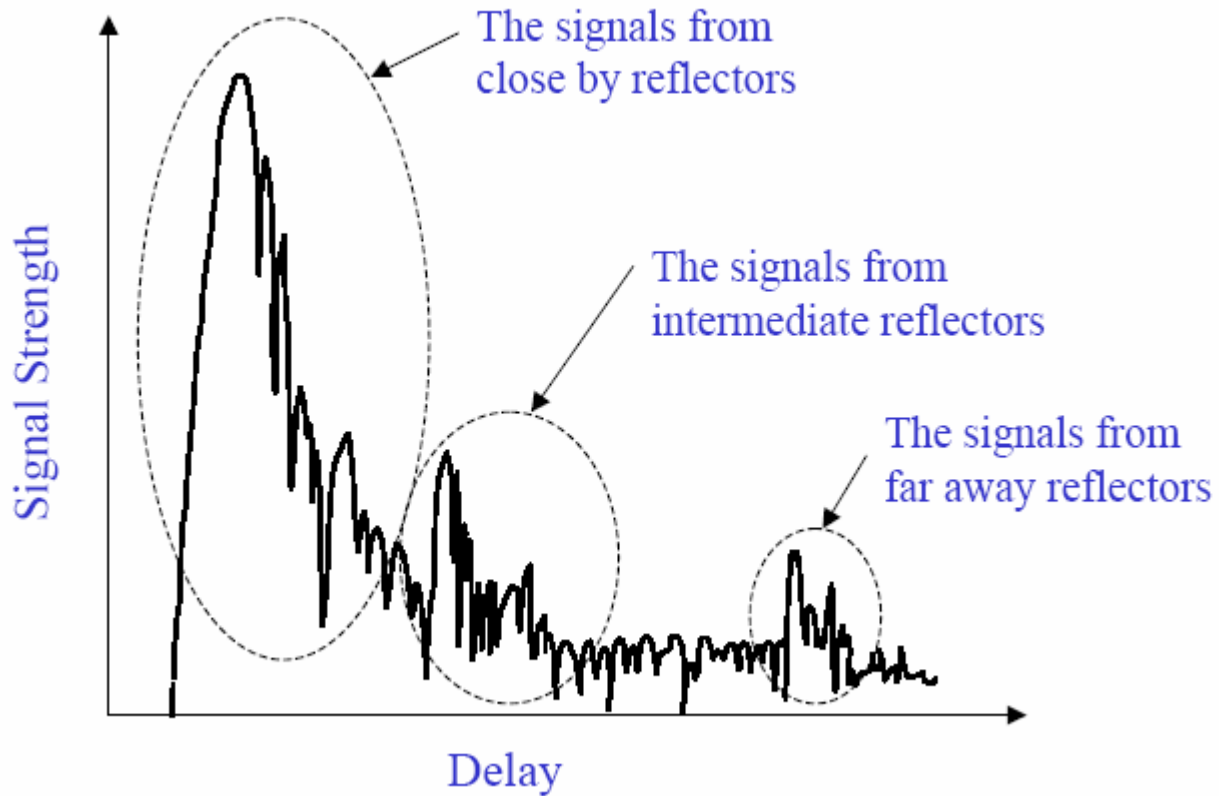
Rozpostarcie opóźnienia

- W czasie propagacji sygnału od nadajnika do odbiornika, sygnał odbija się raz lub więcej
- To powoduje, że sygnał przychodzi różnymi drogami
- Każda droga ma inną długość, tak więc czas przybycia sygnału różnymi drogami jest różny
- Ten efekt, który powoduje rozpostarcie sygnału nazywany jest „rozpostarciem opóźnienia”

Rozpostarcie opóźnienia



Rozpostarcie opóźnienia



- Rozpostarcie opóźnienia wynosi około 3 μ s w obszarze miejskim i do 10 μ s w terenie pagórkowatym



Interferencja międzysymbolowa

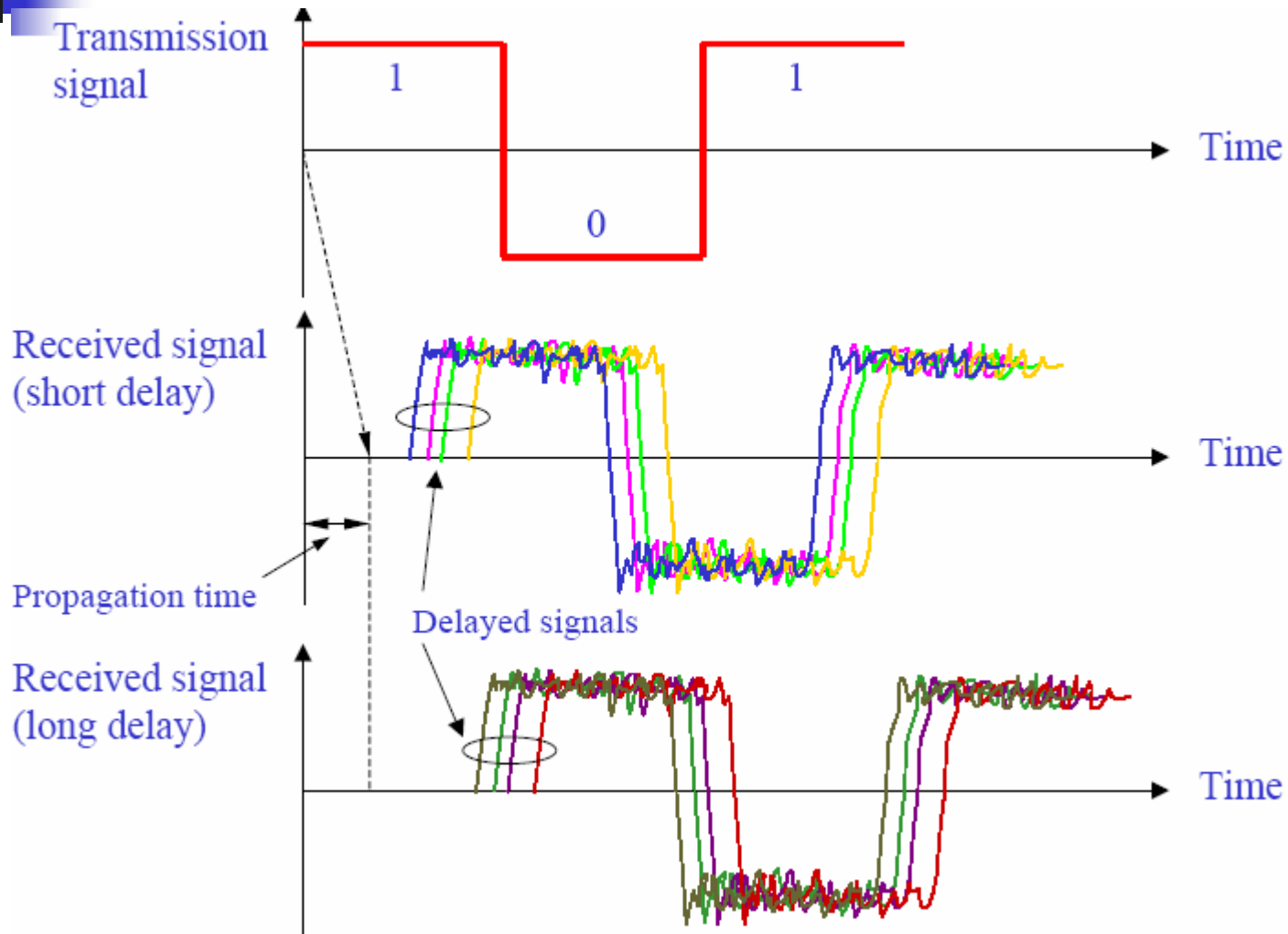
- Jest wynikiem wielotorowości sygnałów i spowodowanych tym opóźnień czasowych
- Ma wpływ na stopę błędów kanału (patrz, rysunek)
- Drugi multipath sygnał jest opóźniony tak dużo, że jego część może być otrzymana w czasie interwału drugiego symbolu

- aby mieć małą bitową stopę błędów

$$R < \frac{1}{2\tau_d}$$

- R (prędkość transmisji cyfrowej) jest ograniczona przez rozpostarcie opóźnienia

Interferencja międzysymbolowa





Pasmo koherencji (spójności)

- Pasmo koherencji B_c :
 - reprezentuje korelację między 2-ma zanikającymi sygnałami o częstotliwościach f_1 i f_2
 - jest funkcją rozprzestrzeniania opóźnienia
 - dwie częstotliwości, które są większe niż pasmo koherencji zanikają niezależnie od siebie
 - koncepcja użyteczna dla dywersyfikacji odbioru: wiele kopii tej samej wiadomości jest wysyłanych przy użyciu różnych częstotliwości

-



Międzykanałowa interferencja

- Komórki mające tą samą częstotliwość interferują między sobą
- r_d jest chcianym sygnałem
- r_u jest interferującym niechcianym sygnałem
- β jest współczynnikiem protekcji, takim że $r_d \leq \beta r_u$ (takim, że sygnały interferują najmniej)
- Jeżeli P jest prawdopodobieństwem, że $r_d \leq \beta r_u$
- Prawdopodobieństwo międzykanałowe
 $P_{co} = P$