

## Modele propagacyjne w sieciach bezprzewodowych.

### Modele propagacyjne

Model propagacyjny to wzór matematyczny, który z pewnym przybliżeniem opisuje propagację fal radiowych uwzględniając takie czynniki jak częstotliwość, odległość czy wysokość zawieszenia anteny.

Możemy wyróżnić kilka modeli propagacyjnych:

#### a) Tłumienie w swobodnej przestrzeni

W przypadku projektowania sieci bezprzewodowych w hali lub tylko w jednym pomieszczeniu można posłużyć się modelem tłumienia w swobodnej przestrzeni, który to jest funkcją dwóch zmiennych – odległości i częstotliwości.

$$L = -27,55 + 20 \cdot \log_{10}(f) + 20 \cdot \log_{10}(d)$$

gdzie:

$L$  – tłumienie swobodnej przestrzeni (dB)

$f$  – częstotliwość pracy systemu (MHz)

$d$  – odległość pomiędzy antenami (m)

Wyniki tłumienia uzyskane z modelu swobodnej przestrzeni mogą posłużyć jako wyniki odniesienia w przypadku porównywania różnych modeli propagacyjnych.

#### b) ITU-R P.1238

Organizacja ITU-R stworzyła model propagacyjny, który uwzględnia podstawowe czynniki propagacyjne mające wpływ na tłumienie fali w środowisku wewnątrz budynkowym, a są nimi: częstotliwość, odległość i tłumienie przeszkód.

$$L = 20 \cdot \log(f) + N \cdot \log(d) + L_f(n) - 28$$

gdzie:

$L$  – tłumienie propagacyjne pomiędzy antenami [dB]

$f$  – częstotliwość pracy systemu [MHz]

$N$  – odległościowy współczynnik tłumienia

$d$  – odległość pomiędzy antenami [m] ( $d > 1 \text{ m}$ )

$L_f$  – współczynnik tłumienia stropów [dB]

$n$  – ilość pięter pomiędzy urządzeniami

Parametry  $N$  i  $L_f$  określane są eksperymentalnie, przy czym ITU podaje pomocnicze wartości tych parametrów, które przedstawione zostały w tabeli nr 1 i 2.

TABELA 1 WARTOŚCI ODLEGŁOŚCIOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA  
TŁUMIENIA ZALECANE PRZEZ ITU-T

Częstotliwość	Bud. mieszkalny	Bud. biurowy	Bud. komercyjny
900 MHz	-	33	20
1,2 – 1,3 GHz	-	32	22
1,8 – 2 GHz	28	30	22
4 GHz	-	28	22
5,2 GHz	-	31	-
60 GHz	-	22	17
70 GHz	-	22	-

TABELA 2 WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA TŁUMIENIA STROPÓW  
ZALECANE PRZEZ ITU-T

Częstotliwość	Bud. mieszkalny	Bud. biurowy	Bud. komercyjny
900 MHz	-	9 (1 piętro) 19 (2 piętra) 24 (3 piętra)	-
1,8 – 2 GHz	$4n$	$15 + 4(n - 1)$	$6 + 3(n - 1)$
5,2 GHz	-	16 (1 piętro)	-

#### c) Model One-Slope

Jednym z najprostszych modeli propagacyjnych jest model One-Slope, zwany inaczej modelem jednościeżkowym, ponieważ nie uwzględnia on istotnych elementów środowiska wewnątrz budynkowego – ścian, stropów i materiałów z jakich zostały one wykonane.

$$L = L_0 + 10\gamma \log(d)$$

gdzie:

$L$  – tłumienie propagacyjne pomiędzy antenami [dB]

$L_0$  – tłumienie odniesienia w odległości 1 m [dB]

$\gamma$  – indeks odległościowego zaniku mocy

$d$  – odległość pomiędzy antenami [m]

Model jednościeżkowy zależy przede wszystkim od odległości pomiędzy urządzeniami. Indeks  $\gamma$  dobiera się eksperymentalnie, jednak typowa wartość dla swobodnej przestrzeni wynosi  $\gamma = 2$ , natomiast dla środowiska wewnątrz budynkowego  $\gamma$  zawiera się w przedziale od 3,5 do 6.

Tłumienie odniesienia w odległości 1 m od anteny nadawczej dobiera się w sposób empiryczny lub gdy nie jest to możliwe można posłużyć się modelem swobodnej przestrzeni (wzór Z modelu a))

Model ten wykorzystywany jest przede wszystkim do oszacowania tłumienia propagacyjnego w obrębie tej samej kondygnacji lub pomieszczenia.

#### d) Model Motleya-Keenana

Model Motleya-Keenana jest modelem rozbudowany, ponieważ uwzględnia on propagację fali radiowej przez kolejne ściany i stropy budynku.

$$L = L_{FS} + n_w \cdot L_w + n_f \cdot L_f$$

gdzie:

$L$  – tłumienie propagacyjne pomiędzy antenami [dB]

$L_{FS}$  – tłumienie swobodnej przestrzeni pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem [dB]

$n_w$  – liczba ścian na drodze propagacji

$L_w$  – tłumienie ściany [dB]

$n_f$  – liczba stropów na drodze propagacji

$L_f$  – tłumienie stropu [dB]

Model ten choć uwzględnia tłumienie ścian i stropów jest bardzo uproszczony, ponieważ zakłada jedną kategorię tych przeszkód. Problemem może być brak znajomości tłumienia ścian i stropów. W takiej sytuacji warto dobrać zalecane wartości. W tabeli nr 3 przedstawiono tłumienie poszczególnych elementów w paśmie 2,4 GHz.

TABELA 3 TŁUMIENIE POSZCZEGÓLNYCH  
CHARAKTERYSTYCZNYCH ELEMENTÓW W ŚRODOWISKU  
WEWNĄTRZBUDYNKOWYM W PAŚMIE 2,4 GHz [7]

Nazwa elementu	Material	Grubość [cm]	Tłumienie
Ściana wewnętrzna	Cegła	10	7 dB
Ściana zewnętrzna	Cegła	30	9 dB
Ściana działowa	Rigips i wełna szklana	7	2 dB
Strop	Beton	30	11 dB
Okno	Szkło	2 x szyba + 1 cm przerwy	4,5 dB
Drzwi	Drewno	4	2,5 dB

#### e) Model Multi-Wall

Najpopularniejszym i obecnie najczęściej używanym modelem empirycznym dla omawianego środowiska jest Multi-Wall. Model Multi-Wall jest niejako połączeniem dwóch poprzednio opisywanych modeli – One-Slope i Motleya-Keenana, uwzględnia on tłumienie ścian i stropów przy czym przeszkody te podzielone są na odpowiednie kategorie (np. ściana zewnętrzna, działowa, itp.). Zapis decybelowy liniowego modelu Multi-Wall wygląda następująco:

$$L = L_0 + 10\gamma \log(d) + \sum_{i=1}^I k_{wi} \cdot L_{wi} + \sum_{j=1}^J k_{fj} \cdot L_{fj}$$

gdzie:

$L$  – tłumienie propagacyjne pomiędzy antenami [dB]

$L_0$  – tłumienie odniesienia w odległości 1 m [dB]

$\gamma$  – indeks odległościowego zaniku mocy

$d$  – odległość pomiędzy antenami [m]

$k_{wi}$  – liczba ścian kategorii  $i$

$L_{wi}$  – tłumienie ściany kategorii  $i$   
 $k_{fj}$  – liczba stropów kategorii  $j$   
 $L_{fj}$  – tłumienie stropu kategorii  $j$

Model Multi-Wall ze względu na uwzględnienie różnych kategorii przeszkód, które charakteryzują się różnym tłumieniem fali radiowej powinien teoretycznie dawać wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistych w porównaniu z innymi modelami empirycznymi dla środowiska wewnątrz budynkowego.

#### Bilans energetyczny

Powyższe modele określają jedynie tłumienie w pewnej odległości, zmierzony poziom sygnału uwzględnia także zyski anten oraz moc sygnału nadawanego.

Równanie opisujące powyższe zależności to bilans energetyczny:

$$P_o = P_n + G_n + G_o - L - A$$

gdzie:

$P_o$  – moc sygnału odbieranego [dBm]

$P_n$  – moc sygnału nadawanego [dBm]

$G_n$  – zysk anteny nadawczej [dB]

$G_o$  – zysk anteny odbiorczej [dB]

$L$  – tłumienie fali radiowej w środowisku propagacyjnym [dB]

$A$  – tłumienie kabli i złączy [dB]

#### Zadania

1. Dla podanych modeli propagacyjnych napisz funkcje realizujące obliczenia.
2. Dokonaj 12 pomiarów sieci bezprzewodowych wykorzystując dowolne oprogramowanie na urządzeniu mobilnym
3. Porównaj dokonane pomiary z wynikami modeli propagacyjnych

Pomiary powinny być wykonane w różnych warunkach:

- wewnątrz budynku x3
- pomiędzy ścianami x3
- pomiędzy piętrami x3
- na zewnątrz x3

Jeżeli nie znasz wartości wzmocnienia anten ani mocy sygnału własnego AP oraz to przyjmij, że moc nadawcza i wzmocnienie anten oraz tłumienie kabli wynosi 20 dBm

Literatura:

Łukasz Jasiński, „Analiza i porównanie modeli propagacyjnych dla środowiska wewnątrzbudynkowego”