

Modelado de Canal Inalámbrico

Sistemas de Comunicación

Germán Capdehourat*

Versión v. 1
Marzo, 2013

* gcapde@fing.edu.uy

Índice

| | |
|---|----------|
| 1. Canal inalámbrico | 3 |
| 1.1. Repaso del modelo de canal | 3 |
| 1.2. Atenuación o pérdida de camino | 3 |
| 1.2.1. Espacio libre | 3 |
| 1.2.2. Generalización | 4 |
| 1.3. Ruido | 4 |
| 2. Ejercicios | 5 |
| 3. Solución de los ejercicios | 6 |
| 4. Bibliografía | 7 |

1. Canal inalámbrico

En este caso, cuando el canal de transmisión es el aire, el modelo de atenuación y ruido es diferente al presentado en el curso para medios duros como cables o guías de onda. Si bien se mantiene la dependencia respecto a la distancia, la relación en este caso es distinta, y a diferencia del otro modelo, en este caso el ruido que se introduce en el canal no depende del camino por el que haya pasado la señal desde el transmisor hasta el receptor.

1.1. Repaso del modelo de canal

Vale recordar que un canal sin distorsión se modela como un sistema lineal invariante en el tiempo (SLIT) causal, cuya respuesta al impulso es:

$$H_c(f) = k \cdot e^{-2\pi f t_d} \cdot \Pi\left(\frac{f}{2B}\right)$$

donde k es un factor multiplicativo y t_d un retardo finito.

Luego, la segunda componente del modelo corresponde al ruido introducido en el canal, que se modela como aditivo.

1.2. Atenuación o pérdida de camino

Cuando el medio de comunicación es el aire se suele denominar a la atenuación como pérdida de camino, manteniendo la nomenclatura $L(x)$ para referirse a ella. La atenuación o pérdida de camino corresponde a la relación entre la potencia de la señal transmitida (P_t) y la potencia de la señal recibida a una distancia x ($P_r(x)$):

$$L(x) = \frac{P_t}{P_r(x)}, \text{ o en dBs: } L^{dB}(x) = P_t^{dB} - P_r^{dB}(x).$$

1.2.1. Espacio libre

El modelo en el caso de espacio libre está dado por la siguiente relación:

$$L(x) = \left(\frac{4\pi x}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi f x}{c}\right)^2$$

siendo λ la longitud de onda, f la frecuencia y c la velocidad de la luz. En dBs la relación queda:

$$L^{dB}(x) = 20 \log_{10}(4\pi) + 20 \log_{10}(x) - 20 \log_{10}(\lambda)$$

Esta relación se considera válida además para el diseño de radioenlaces cuando se cumple lo que se denomina línea de vista o LOS (*line of sight*). Se dice que hay LOS entre dos puntos cuando no hay obstáculos en la línea

recta que los une, en este caso entre transmisor y receptor. La condición es algo más complejo que esto último, ya que debe estar despejada una región mayor denominada primer elipsoide de Fresnel¹.

1.2.2. Generalización

Dada la complejidad que implica modelar la propagación en el aire para distintos ambientes, donde diversos mecanismos (reflexión, distorsión, absorción) se producen simultáneamente, existe un modelo simplificado que contempla distintos escenarios. A través de desarrollo teórico y medidas de campo se ajusta un modelo general de la forma:

$$L(x) = L(x_0) \left(\frac{x}{x_0} \right)^\gamma$$

siendo x_0 una distancia de referencia donde la atenuación es $L(x_0)$. En dBs la relación queda:

$$L^{dB}(x) = L^{dB}(x_0) + 10 \cdot \gamma \cdot \log_{10} \left(\frac{x}{x_0} \right)$$

Este modelo simplificado se ajusta a distintos ambientes mediante el ajuste de medidas de campo para determinar el γ más adecuado en cada caso. A continuación se listan algunos ejemplos:

- Macrocela urbana: 3.7-6.5.
- Microcela urbana: 2.7-3.5.
- Edificio de oficinas (mismo piso): 1.6-3.5.
- Edificio de oficinas (pisos distintos): 2-6.
- Local comercial: 1.8-2.2.
- Fábrica: 1.6-3.3.
- Hogar: 3.

1.3. Ruido

El ruido que se introduce en una comunicación por aire está determinado por las condiciones en el receptor. Un modelo típicamente utilizado corresponde al ruido AWGN: una variable aleatoria de media nula y potencia σ^2 , con densidad espectral de potencia constante $\eta/2$. Si se considera un ancho de banda de transmisión B , se tiene que la potencia de ruido en recepción es: $\sigma^2 = \eta/2 \cdot 2B = \eta B$.

¹Esto está fuera del alcance del curso y es algo que se verá en detalle más adelante, en el curso de Antenas y propagación.

2. Ejercicios

En esta sección se propondrán algunos ejercicios con el objeto de facilitar la comprensión del tema.

1. Se desea comparar el modelo de pérdida en espacio libre con el modelo de atenuación de un cable coaxial de 1 cm de diámetro.

La atenuación del cable es:

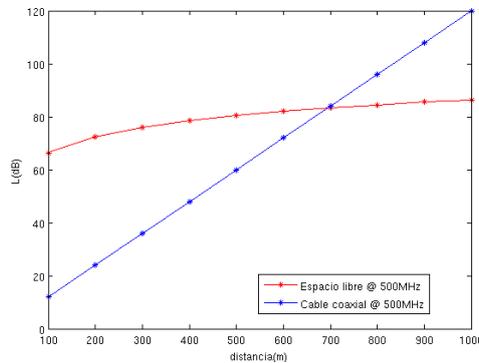
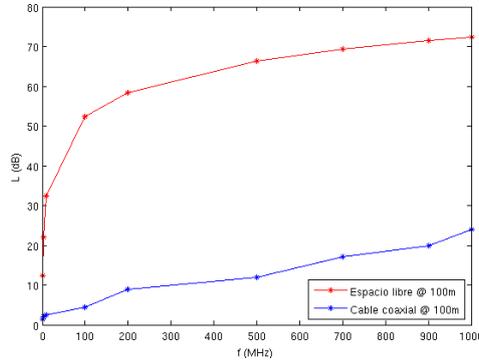
| | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Frec. (MHz) | 1 | 3 | 10 | 100 | 200 | 500 | 700 | 900 | 1000 |
| L máx. (dB/100m) | 1.5 | 2 | 2.5 | 4.5 | 9 | 12 | 17 | 20 | 24 |

Comparar con los valores correspondientes al modelo de espacio libre.

Comparar la relación entre ambos a frecuencia 500 MHz cuando la distancia es de 200 m.

¿Aumenta o disminuye la relación entre ambos con la frecuencia?

2. Bajo el modelo de espacio libre, encontrar la potencia de transmisión necesaria para obtener una potencia en recepción $P_r = 1$ dBm a una distancia $x = 10$ m. Asumir una frecuencia $f = 5$ GHz. Repetir para una distancia $x = 100$ m.
3. ¿Bajo qué condiciones el modelo simplificado de propagación es equivalente al modelo para espacio libre?
4. Usando el modelo de atenuación para oficinas ($\gamma = 3$), determinar la potencia de transmisión necesaria para obtener una potencia de recepción $P_r = -110$ dBm para una transmisión de 100m que atraviesa tres pisos, con atenuaciones 15 dB, 10 dB y 6 dB, respectivamente, así como dos paredes de yeso (3.4 dB c/u). Asumir que se cumple $L(1) = 0$ dB.
5. Considerar un sistema de celular en 900 MHz donde la propagación se da en espacio libre. Suponer que para una calidad de voz aceptable es necesaria una SNR de 15 dB en el móvil. Asumir que la radiobase transmite con $P_t = 500$ mW y que la antena le da una ganancia de 10 dB. La ganancia de antena en el móvil es de 2 dB y el ruido en recepción en la banda de interés es -90 dBm. Encontrar el radio de la celda.
6. Hallar el radio de cobertura de un sistema microcelular donde el modelo de propagación simplificado corresponde a $\gamma = 3$, $L^{dB}(1) = 0$ dB. Asumir una potencia de transmisión $P_t = 80$ mW y un mínimo de potencia recibida de $P_r = -50$ dBm.



3. Solución de los ejercicios

1. A 100m y frecuencia 500 MHz: $L_{EL} = 66,4$ y $L_{coax} = 12$.

A 200m y frecuencia 500 MHz: $L_{EL} = 72,4$ y $L_{coax} = 24$.

Mientras la pérdida de camino aumenta un factor de 4 (2^2), la atenuación del cable aumenta casi $\times 16$.

2. $P_t = P_r \cdot L(x)$.

Para $x = 10$ m: $P_t^{dBm} = P_r^{dBm} + L(x)^{dB} = 1 + 66,42 = 67,42$ dBm.

Para $x = 100$ m: $P_t^{dBm} = 1 + 86,42 = 87,42$ dBm.

3.

$$L(x) = \left(\frac{4\pi x}{\lambda}\right)^2 = L(x_0) \left(\frac{x}{x_0}\right)^\gamma \rightarrow \gamma = 2, L(\lambda) = (4\pi)^2.$$

4. $P_t = P_r + L(1) \left(\frac{x}{x_0}\right)^\gamma + L_1 + L_2 + L_3 + 2L_p$.

$$P_t = -110 \text{ dBm} + 10 \cdot \gamma \cdot \log x + 15 + 10 + 6 + 2 \cdot 3,4 = -12,2 \text{ dBm}.$$

5. $\text{SNR} = P_r - N_r \rightarrow P_r = \text{SNR} + N_r = -75$ dBm.

$$L(x) = \left(\frac{4\pi f x}{c}\right)^2 = G \cdot P_t / P_r \rightarrow x = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{(G \cdot P_t / P_r)} = 13,3 \text{ km}.$$

6. $L(x) = L(x_0) \left(\frac{x}{x_0}\right)^\gamma = P_t/P_r \rightarrow x = \frac{x_0}{L(x_0)} (P_t/P_r)^{1/\gamma} = 200 \text{ m.}$

Nota

Sugerencias sobre el material así como comentarios y/ críticas constructivas se deberán hacer llegar al autor y serán bienvenidas.

4. Bibliografía

1. *Wireless Communications*, Andrea Goldsmith, Cambridge University Press, New York, 2005.
2. *Communication Systems*, Bruce A. Carlson, Paul B. Crilly, Janet C. Rutledge, 4th. Edition, McGraw-Hill, New York, 2001.