

Capítulo 4. El canal óptico

Uno de los principales elementos a estudiar dentro de los sistemas de comunicaciones inalámbricas, es el canal. En este capítulo, se va a realizar un estudio teórico del canal óptico inalámbrico.

Para poder diseñar e implementar correctamente un enlace óptico, es necesario tener muy presente cuáles son las características del canal. La forma más habitual de caracterizar un canal es mediante su respuesta impulsiva, ya que permite analizarlo y así prever los posibles efectos que pueden surgir.

A la hora de considerar el estudio del canal óptico, habría que hacer distinción entre dos situaciones muy dispares. Estas situaciones son, la comunicación óptica en interiores (*Indoor Systems*) y la comunicación óptica en exteriores (*Outdoor Systems*).

Esta división se produce porque cada situación está asociada a un fenómeno diferente. Estos fenómenos son, concretamente, la pérdida de trayectoria óptica en espacio libre y la dispersión multitrayecto.

Tal y como se ha comentado en el capítulo 3, existen diferentes configuraciones de un enlace óptico. Para aquellos que sean de tipo LOS dirigida (*directed LOS*, ver figura 3.5 (a)), la reflexión puede obviarse, por tanto, la pérdida de trayectoria (*path loss*) puede ser calculada si se conoce la divergencia de la fuente emisora, el tamaño del receptor y la distancia que los separa.

Por otro lado, aquellos enlaces que sean sin línea de visión (*non-LOS*, figura 3.5 (c) y (d)), también conocidos como sistemas difusos en comunicaciones de interior, utilizan la reflexión como método de enlace, bien sea a través de una pared, techo o incluso muebles de una habitación. Esta señal resultante, puede ser considerada como distorsionada por el multitrayecto, y hacen de este enlace, una situación compleja de estudiar.

Además, en el enlace de exteriores, existe un problema añadido bastante difícil de estudiar, que son los efectos de la atmósfera, los cuales hacen que el rayo de luz se vea envuelto en un ambiente de pérdida de trayectoria óptica y desvanecimiento, entre otros efectos.

En este proyecto, se va a realizar un estudio y simulación en la situación de interiores (OWC *Indoor*), cuyo enlace estará entre los 5 y 10 metros de distancia.

4.1 Canales ópticos inalámbricos de interiores (*Indoor*)

Como se ha visto en el apartado 3.2.1, existen distintas configuraciones del enlace óptico inalámbrico. La mayoría de esas topologías (fig. 3.5 (b-e)) se utilizan para enlaces en interiores. Esas configuraciones se clasificaron conforme al grado de direccionalidad (*directed* o *non-directed*) del transmisor y del receptor, y también según la línea de visión existente entre ambos (*LOS* o *non-LOS*).

En el apartado 5.1, se va a comentar también en qué consiste la intensidad modulada (IM) y la detección directa (DD), puesto que constituyen el método principal de transmisión para enlaces ópticos inalámbricos, ya que reducen la complejidad y también el coste de estos sistemas.

El equivalente en banda base de un sistema óptico inalámbrico basado en IM/DD se ve a continuación (fig. 4.1),

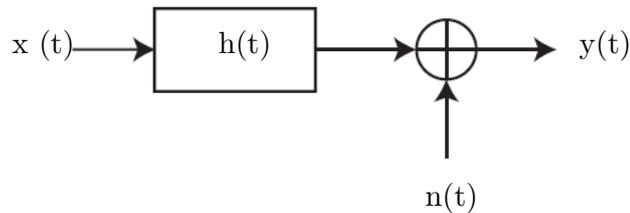


Figura 4.1 Modelo óptico inalámbrico basado en IM/DD

donde $x(t)$ es la salida de la fuente óptica, $h(t)$ es la respuesta del canal, $n(t)$ es el ruido de disparo del fotodetector (*shot noise*), modelado como ruido aditivo blanco Gaussiano (AWGN) e $y(t)$ es la salida del enlace óptico.

Los enlaces ópticos non-LOS, especialmente para aplicaciones de interiores, se ven afectados por el multitrayecto, en una medida parecida al multitrayecto experimentado en enlaces RF.

Aunque los enlaces de interiores, normalmente, no se ven perjudicados por el desvanecimiento del multitrayecto como en los enlaces exteriores, sí que sufren los efectos de la dispersión por multitrayecto, y eso se traduce a la aparición de ISI en el sistema.

La característica de este canal $h(t)$, depende de la posición en la que se encuentran el transmisor óptico, el receptor óptico y el objeto que permite la reflexión. Esta característica del canal cambia si esos parámetros cambian.

Del sistema representado en la fig. 4.1, obtenemos:

$$\begin{aligned} y(t) &= x(t) * h(t) + n(t) = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t - \tau) d\tau + n(t) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Esta respuesta $h(t)$ puede ser usada para analizar y simular los efectos de la dispersión multitrayecto en canales OWC *Indoor*. La respuesta del canal fue modulada por F.R. Gfeller y U. Bapst de la siguiente forma:

$$h(t) = f(x) = \begin{cases} \frac{2 T_o}{t^3 \sin^2(FOV)} & \text{para } T_o \leq T \leq \frac{T_o}{\cos(FOV)} \\ 0 & \text{para cualquier otro caso.} \end{cases} \quad (4.2)$$

o también, $f(x) = 0$, para cualquier otro caso. La T_o representa el retardo mínimo.

Aunque la ecuación (4.1) sea simple, los sistemas de óptica inalámbrica difieren de los sistemas RF convencionales desde que la potencia óptica es proporcional a la corriente eléctrica generada. $X(t)$ representa esa potencia óptica, que debe ser mayor que cero.

Por otra parte, también hay que considerar que a estas frecuencias, el ojo humano puede sufrir daños importantes. Habría que establecer un límite de máxima potencia óptica a transmitir, por temas de seguridad. Generalmente, se establece la P_{max} como:

$$P_{max} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) dt \quad (4.3)$$

que vendría a ser el contraste con el valor promedio de la señal en el tiempo $|x(t)|^2$ en las señales RF convencionales, siempre que $x(t)$ represente la amplitud de la señal.

Estas diferencias tienen un efecto significativo en el diseño de los sistemas. En los sistemas RF, la relación SNR es proporcional a la potencia promedio recibida, mientras que en los enlaces ópticos inalámbricos, es directamente proporcional al cuadrado de la potencia óptica recibida.

4.1.1 El modelo de propagación con non-LOS

Para enlaces sin línea de visión directa (o difusos), las pérdidas de trayectoria óptica son más difícil de predecir, ya que depende de múltiples factores, como son la reflectividad de los objetos intermedios, las dimensiones de la habitación, la posición y la orientación del transmisor y receptor, entre otros. La potencia óptica recibida se define como:

$$P_{r-nlos} = (H_{los}(0) + H_{nlos}(0))P_t = \left(H_{los}(0) + \sum_{refl} H_{refl}(0) \right) P_t \quad (4.4)$$

donde $H_{refl}(0)$ representa el camino reflejado.

Las características de reflexión de la superficie de dichos objetos intermedios en la comunicación, también dependen de varios factores como el material, la longitud de onda de la señal, el ángulo de incidencia, etc.

El criterio de Rayleigh es el que se suele usar para determinar la textura de una superficie. Según este criterio, se puede considerar como suave si no supera el siguiente factor:

$$h_s < \frac{\lambda}{8\sinh(\theta)} \quad (4.5)$$

Es necesario hacer un análisis de la distribución de la potencia óptica para poder hacer una estimación de las pérdidas de trayectoria que van a producirse en el canal non-LOS.

De forma matemática, la respuesta al impulso de este canal óptico inalámbrico se puede calcular integrando la potencia de todas las componentes que llegan al receptor tras el multitrayecto.

La señal en un enlace non-LOS vendrá formada por varias componentes, cada una proveniente de un trayecto diferente, de longitud diferente y tiempos diferentes. Esta respuesta impulsiva sigue la distribución de Rayleigh para la mayoría de distancias, ya que no existe línea de visión directa entre transmisor y receptor. La envolvente de la señal recibida se puede modelar mediante una distribución de Rayleigh dando lugar al desvanecimiento (*Rayleigh fading*).

En las comunicaciones de interiores, puede considerarse el canal como *Rayleigh fading channel*.

Cuando existen desvanecimientos durante una transmisión, el canal Rayleigh se considera como una buena aproximación de la propagación.

Si se considera cada componente del multitrayecto como independiente, podemos decir que la función de probabilidad es de tipo Rayleigh. En la figura 4.2 se muestra esta función típica [6]

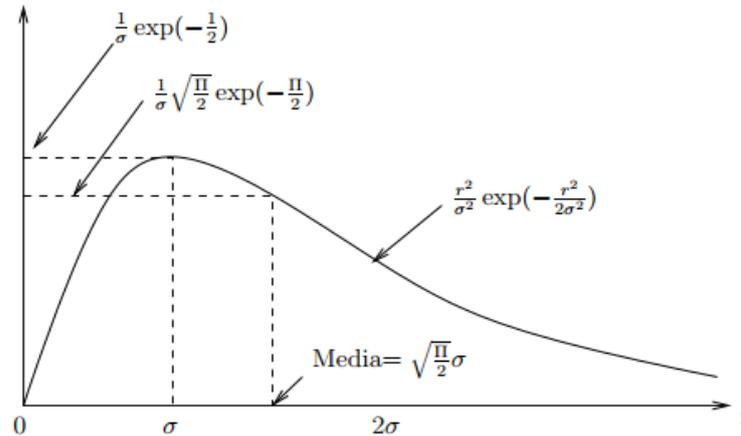


Figura 4.2 Función de probabilidad de un canal Rayleigh [6]

4.1.2 El modelo de propagación con LOS

Para enlaces con LOS, existe una línea de visión directa entre transmisor y receptor. La señal recibida está formada de una componente significativa de línea de visión directa (componente principal) y de múltiples componentes de rayos reflejados (al igual que en la configuración non-LOS). En este caso, la envolvente de la señal recibida se correspondería en cambio con una distribución *Rice*, y el desvanecimiento que sufre está clasificado como distribución de tipo *Rician fading*.

Aquí, la función de transferencia del canal estaría formada de la siguiente forma:

$$H_{OW}(f) = H_{los} + H_{nlos}(f) \quad (4.6)$$

donde H_{los} es la contribución de los rayos directos, que además, es prácticamente independiente de la frecuencia de modulación, y depende de la distancia entre transmisor y receptor y de su orientación. Por otro lado, H_{nlos} se refiere a la contribución de los rayos reflejados.

En un enlace directo, la relación de potencia entre el enlace LOS y los enlaces non-LOS puede incrementarse si se reduce el ancho del rayo transmisor o la FOV del receptor. A este parámetro se le conoce como *Rician factor*:

$$K_{rician} = \left(\frac{H_{los}}{H_{nlos}} \right)^2 \quad (4.7)$$

En canales donde existe una trayectoria principal o dominante, como puede ser la línea de visión del enlace LOS, normalmente, a la llegada al receptor aparece el elemento principal, acompañado de otras trayectorias dispersas. A este canal se le conoce como Rician, cuya función de probabilidad se representa en la figura 4.3.

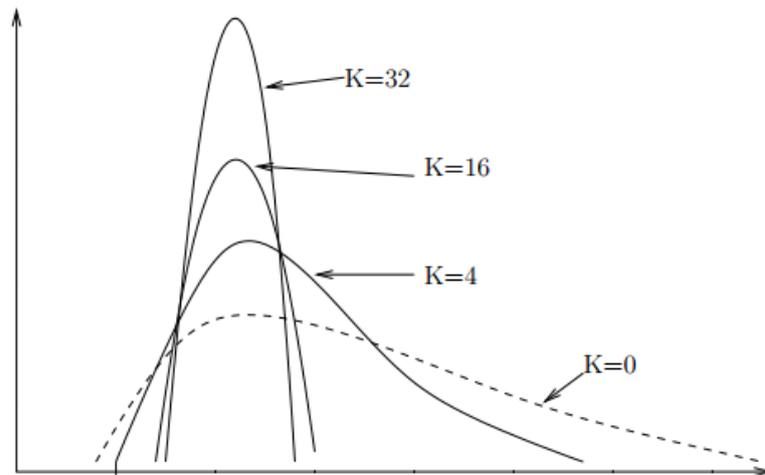


Figura 4.3 Función de probabilidad de un canal Rician [7]

Nótese, que la K representa el *Rician Factor*, y a medida que disminuye, las componentes dispersas tienen más presencia, de hecho, para la situación de $K = 0$, la distribución es prácticamente una función de probabilidad Rayleigh.

4.3 Referencias

- [1]. Shlomi Arnon, John Barry, George Karagiannidis, Robert Schober “*Advanced Optical Wireless Communication Systems*”, July 2002.
- [2]. R Ramirez-Iniguez, S M Idrus and Z Sun, “*Optical Wireless Communications: IR for Wireless Connectivity*”, 2008.
- [3]. F R Gfeller and U Bapst, “*Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation*”, IEEE.
- [4]. Z. Ghassemlooy, W. Popoola. “*Optical Wireless Communications System and Channel Modelling with MATLAB®*”, 2012.
- [5]. R. Ramirez, M. Indrus, “*Optical Wireless Communications - IR for Wireless Connectivity*”, 2008.
- [6]. Bernard Sklar, “*Rayleigh fading channels in Mobile Digital Communications Systems*”, IEEE, 1997.
- [7]. Torbjorn Eltoft. “*The Rician Inverse Gaussian Distribution: A New Model for Non-Rayleigh Signal Amplitude Statistics*”, IEEE 2005.
- [8]. www.google.es