

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1791*

Métodos de predicción de la propagación para evaluar la repercusión de los dispositivos de banda ultraancha

(Cuestión UIT-R 211/3)

(2007)

Cometido

Esta Recomendación proporciona métodos válidos en la gama de frecuencias 1-10 GHz para calcular las pérdidas de trayecto de banda ultraancha (UWB) en entornos de funcionamiento en interiores y exteriores para categorías de trayecto con visibilidad directa y obstruidos, y para determinar la potencia de la señal recibida por un receptor de banda estrecha convencional procedente de un transmisor UWB.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda ultraancha (UWB) es una tecnología inalámbrica que está creciendo rápidamente;
- b) que los dispositivos que utilizan la tecnología UWB emplean trenes de alta velocidad de transmisión de datos y cubren una anchura de banda muy amplia;
- c) que el conocimiento de las características de propagación es fundamental para determinar la repercusión de los dispositivos UWB;
- d) que es necesario contar con modelos empíricos (es decir, generales en cuanto al lugar de instalación) y directrices para evaluar la interferencia y con modelos determinísticos (específicos para una instalación determinada) a fin de realizar algunas predicciones de propagación detalladas,

observando

- a) que la Recomendación UIT-R P.525 presenta los cálculos de la atenuación en el espacio libre;
- b) que la Recomendación UIT-R P.528 indica las curvas de propagación para los servicios móvil aeronáutico y de radionavegación aeronáutica que utilizan las bandas de ondas métricas, decimétricas y centimétricas;
- c) que la Recomendación UIT-R P.618 proporciona los datos de propagación y los métodos de predicción necesarios para los enlaces Tierra-espacio;
- d) que la Recomendación UIT-R P.452 describe el procedimiento para evaluar la interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra en la gama de frecuencias de 0,7 GHz a 30 GHz, aproximadamente;
- e) que la Recomendación UIT-R P.1238 da orientaciones sobre la propagación en interiores en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones.

- f) que la Recomendación UIT-R P.1411 presenta métodos de propagación para trayectos cortos en exteriores, en la gama de frecuencias de unos 300 MHz a 100 GHz;
- g) que la Recomendación UIT-R P.1546 proporciona orientaciones sobre propagación en sistemas que funcionan con distancias de 1 km y superiores, y en la gama de frecuencias de 30 MHz a 3 GHz;
- h) que la Recomendación UIT-R P.530 presenta datos de propagación y métodos de predicción para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa,

recomienda

- 1 que se utilice la información y los métodos presentados en el Anexo 1 para calcular las pérdidas de trayecto de los dispositivos UWB entre 1 GHz y 10 GHz;
- 2 que se utilice la información que figura en el Anexo 2 para determinar la potencia de la señal recibida por un receptor de banda estrecha convencional procedente de un transmisor UWB.

Anexo 1

1 Introducción

La dependencia con la frecuencia de las pérdidas de transmisión con visibilidad directa (LoS) UWB procede realmente de las características de la antena. Por lo tanto, el modelo de pérdidas de trayecto tradicional utilizado normalmente para crear modelos de propagación de la señal en banda estrecha resulta de utilidad a la hora de calcular las pérdidas de trayecto que experimentan las señales UWB.

Se han llevado a cabo un gran número de estudios y experimentos de propagación UWB con una amplia variedad de condiciones, lo que ha permitido la obtención de modelos de propagación UWB y sus parámetros.

Están previstos tanto entornos en interiores como en exteriores para los dispositivos UWB. Con objeto de realizar estudios de propagación es necesario tener un conocimiento detallado del emplazamiento en interiores concreto, incluida su geometría, los materiales, el mobiliario, etc. En el caso de propagación en exteriores, la información sobre los edificios y los árboles es esencial para realizar los cálculos de propagación. Estos factores dan lugar normalmente a multitrayectos, que un receptor UWB es capaz de resolver. En consecuencia, un modelo de propagación UWB debe englobar tanto las pérdidas de trayecto como las características multitrayecto del entorno típico donde se espera que funcionen los dispositivos UWB. Los modelos que representan las características de propagación en el entorno de una forma general son los más adecuados a fin de lograr este objetivo. Estos modelos normalmente no requieren mucha información de partida por parte del usuario para realizar los cálculos.

Esta Recomendación define los entornos de funcionamiento y las categorías de pérdidas de trayecto y además proporciona métodos para estimar las pérdidas de trayecto UWB en estas condiciones. Debe utilizarse para calcular el balance del enlace en la UWB.

2 Entornos de funcionamiento físico

Los entornos descritos en esta Recomendación se clasifican únicamente desde el punto de vista de la propagación radioeléctrica. Se han identificado dos entornos distintos para la propagación en

interiores y uno para la propagación en exteriores, que se consideran los más típicos. En el Cuadro 1 aparecen los tres entornos. Aun reconociendo que hay una amplia variedad de entornos en cada categoría, no se pretende establecer un modelo de cada caso posible sino ofrecer modelos de propagación que sean representativos de los entornos más frecuentes.

CUADRO 1
Entornos de funcionamiento físico

Entorno	Descripción
Residencial interior	– Casa con muebles, muros de yeso y de hormigón
Industrial interior	– Oficinas/laboratorios (pasillos, salas de lectura) con muros y techos de yeso/hormigón, suelos de yeso/hormigón/parquet y salas con mobiliario (armarios metálicos, mesas de despacho, sillas, instrumentación electrónica, etc.) y vacías
Exteriores	– Condiciones generales y rurales incluyendo vegetación y árboles

3 Categorías de trayectos

Analizando las posibles situaciones de propagación entre el transmisor y el receptor UWB pueden establecerse dos categorías de trayecto distintas: trayecto con una fuerte componente de visibilidad directa (LoS) y trayectos obstruidos sin visibilidad directa (NLoS).

Debido al bloqueo producido por obstáculos naturales o artificiales, es difícil que exista una situación LoS en entornos de funcionamiento en interiores y la señal suele recibirse a través de múltiples trayectos. Además, dependiendo del grado de obstrucción del receptor con respecto al transmisor, pueden considerarse subcategorías de trayecto adicionales en los entornos de propagación en interiores: NLoS ligeros y NLoS intensos. En el primer caso se trata de un obstáculo normalizado o, al menos, un muro de yeso entre el transmisor y el receptor. En el segundo caso, el receptor se encuentra separado del transmisor por un gran número de obstáculos o, al menos, por un muro de hormigón.

4 Modelos y parámetros de pérdidas de trayecto

Las pérdidas de trayecto entre el transmisor UWB y el receptor UWB pueden estimarse utilizando modelos generales en cuanto al lugar de instalación o específicos para un instalación determinada. La utilización de modelos de pérdidas de transmisión en entornos en interior supone que tanto el transmisor como el receptor están ubicados dentro del mismo edificio.

4.1 Modelos generales en cuanto al lugar de instalación

Los modelos descritos en este punto se consideran independientes del emplazamiento puesto que requieren poca información sobre el trayecto o el lugar de instalación. Los coeficientes de pérdidas de potencia con la distancia que aparecen a continuación tienen en cuenta implícitamente la transmisión a través de paredes así como a través de obstáculos y por encima de éstos, así como otros mecanismos de pérdidas, tales como pérdidas multitrayecto, que probablemente aparecerán en el canal de transmisión UWB. Los modelos para instalaciones específicas podrían ofrecer la posibilidad de incorporar explícitamente las pérdidas debidas a cada obstáculo, en vez de incluirlas en el modelo basado en la distancia.

Las pérdidas de transmisión básicas $PL(d)$ experimentadas por una señal UWB pueden obtenerse a partir de la ecuación (1):

$$PL(d) = PL_0(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad \text{dB} \quad (1)$$

donde:

- $PL_0(d_0)$: pérdidas de transmisión básicas (dB) a la distancia de referencia d_0 (siendo d_0 normalmente igual a 1 m)
- d : distancia de separación (m) entre el transmisor y el receptor UWB (donde $d > 1$ m)
- n : exponente de pérdidas de trayecto
- X_σ : desvanecimiento por apantallamiento log-normal; es decir, variable aleatoria Gaussiana de media cero con una desviación típica σ (dB).

Las pérdidas de transmisión básicas a la distancia de referencia pueden aproximarse mediante la ecuación (2):

$$PL_0(d_0) = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0 \sqrt{f_1 \cdot f_2}}{0,3}\right) \quad \text{dB} \quad (2)$$

donde f_1 (GHz) y f_2 (GHz) son las frecuencias en los bordes a -10 dB del espectro radiado UWB.

Las pérdidas de transmisión básicas variarán ampliamente a lo largo de la anchura de banda UWB y la característica global del sistema dependerá de cómo interactúa esta variación con las características de antena.

En el Cuadro 2 aparecen los parámetros típicos basándose en varios resultados de mediciones. Deben utilizarse para distancias de propagación de hasta 20 m. Para distancias de propagación mayores de 20 m los parámetros corresponden al entorno en exteriores LoS y NLoS pueden proporcionar una evaluación de las pérdidas de transmisión básicas entre el transmisor y el receptor UWB. Cabe señalar, además, que la propagación en interiores LoS puede dar lugar a un reforzamiento de la señal multitrayecto lo que indica que en casos específicos pueden aplicarse otros exponentes de pérdidas de trayecto.

CUADRO 2

Parámetros para el cálculo de las pérdidas de transmisión básicas

Entorno	Categoría de trayecto	n	σ (dB)
Residencial en interiores	LoS	~ 1,7	1,5
	NLoS ligera	3,5-5	2,7-4
	NLoS severa	~ 7	4
Industrial en interiores	LoS	~ 1,5	0,3-4
	NLoS ligera	2,1-4	0,19-4
	NLoS severa	4-7,5	4-4,75
Exteriores	LoS	~ 2	–
	NLoS	3-4	–

4.2 Modelos para una instalación determinada

La estimación determinística de las pérdidas de trayecto puede resultar útil para realizar una planificación detallada de las aplicaciones UWB. Se dispone de métodos teóricos para predecir la intensidad de campo basándose en la teoría de la difracción uniforme. Estos modelos requieren información detallada sobre la geometría de los obstáculos y la estructura de los edificios (en el caso de entorno en interiores) para el cálculo de la intensidad de campo. En estos modelos la onda recibida se modela como una superposición de los rayos significativos del canal, teniendo en cuenta los efectos de la antena del transmisor, la propagación multitrayecto y la antena del receptor. La respuesta impulsiva del canal de un rayo determinado tiene en cuenta no sólo la atenuación sino también la dispersión debida a la interacción y la respuesta impulsiva de la antena del receptor en la dirección de llegada de este rayo, respectivamente. Los rayos significativos y sus retardos asociados entre el transmisor y el receptor se determinan mediante la técnica de trazado de rayos. La función de transferencia de canal asociada a cada rayo se determina basándose en la teoría de la difracción uniforme. Incluyendo los rayos reflejados y difractados, la precisión a la hora de predecir las pérdidas de trayecto mejora significativamente.

Anexo 2

Para calcular la potencia de una señal emitida por un transmisor UWB y recibida por un receptor de banda estrecha convencional es necesario considerar la anchura de banda del receptor. La potencia radiada aparente que debe considerarse es la densidad espectral de potencia UWB integrada a lo largo de la anchura de banda del receptor. En este caso, la potencia recibida puede calcularse utilizando modelos de propagación convencionales y la ganancia de antena del receptor. A tal efecto pueden utilizarse dentro de sus ámbitos de aplicación las Recomendaciones UIT-R de la Serie P indicadas en los *observando* a) a g).
