

Modelos de Propagación electromagnética

Propagación en entorno urbano

Alexandre Wagemakers y Borja Ibarz

29 de octubre de 2007

Propagación en entorno urbano

Plan de la clase:

- ▶ Modelos determinísticos simples.
- ▶ Clasificación de los entornos urbanos
- ▶ Modelos empíricos de propagación.
- ▶ Modelos para sistemas microcelulares.
- ▶ Modelos de propagación en edificios.

Clasificación de entornos urbanos

Los problemas de propagación dependen fuertemente del entorno. En general se clasifica el entorno en cuatro clases:

- ▶ Zona rural.
- ▶ Sub-urbano.
- ▶ Urbano
- ▶ Urbano denso

Se pueden desarrollar modelos específicos para cada tipo de entorno. Si embargo existen clasificaciones más objetivas donde intervienen:

- ▶ La densidad de superficie de los edificios.
- ▶ El volumen medio de los edificios.
- ▶ Altura media.
- ▶ ...

Referencias:

Kozono, S.; Watanabe, K., "Influence of Environmental Buildings on UHF Land Mobile Radio Propagation," Communications, IEEE Transactions on, vol.25, no.10, pp. 1133-1143, 1977

Clasificación de entornos urbanos

Definiciones sacadas de la norma ITU-R P1411-3.

Entornos de funcionamiento físico - Degradaciones de la propagación

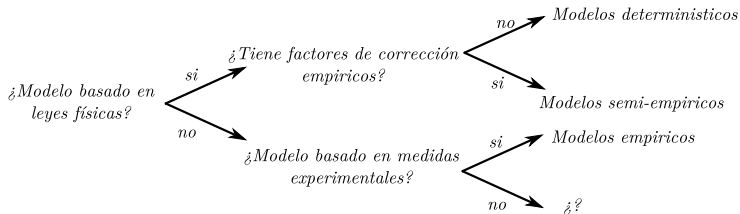
Entorno	Descripción y degradaciones de la propagación significativas
Urbano de construcción alta	<ul style="list-style-type: none">- Valle urbano, caracterizado por avenidas con edificios altos de varios pisos- La altura de los edificios reduce la probabilidad de una contribución significativa de la propagación que pasa por encima de los tejados- Las hileras de edificios altos hacen posible la existencia de largos retardos de trayecto- El gran número de vehículos en movimiento en la zona actúa como reflector, lo que añade una deriva Doppler a las ondas reflejadas
Urbano/suburbano de construcción baja	<ul style="list-style-type: none">- Típicamente amplias avenidas- Las alturas de los edificios suelen ser inferiores a tres pisos, lo que hace probable la difracción por los tejados- Pueden producirse en ocasiones reflexiones y ensombrecimientos producidos por los vehículos en movimiento- Los efectos principales son: retardos grandes y pequeñas derivas Doppler
Zona residencial	<ul style="list-style-type: none">- Construcciones de uno y dos pisos- Las calles suelen ser de doble dirección con vehículos estacionados a ambos lados- Es posible que haya vegetación densa a ligera- Tráfico motorizado generalmente ligero
Rural	<ul style="list-style-type: none">- Pequeñas casas rodeadas de amplios jardines- Influencia de la altura del terreno (topografía)- Posibilidad de vegetación densa a ligera- Tráfico motorizado ocasionalmente elevado

Clasificación de entornos urbanos

Definición de tipos de célula

Tipo de célula	Radio de la célula	Posición típica de la antena de la estación de base
Pequeña macrocélula	0,5 a 3 km	Exteriores; montada por encima del nivel medio de los tejados; las alturas de algunos edificios circundantes pueden ser superiores a la de la antena de la estación de base
Microcélula	100 a 500 m	Exteriores; montada por debajo del nivel medio de los tejados
Picocélula	Hasta 100 m	Interiores o exteriores (montada por debajo del nivel máximo de los tejados)

Clasificación de los modelos de propagación



Modelos Empírico

Modelos Semi-empíricos

Modelos deterministas

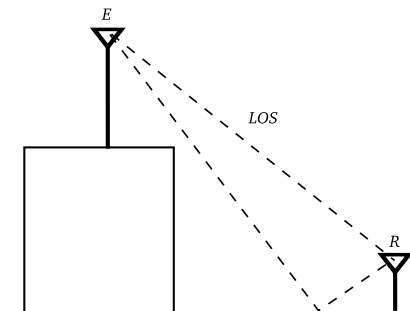
Mod. Hata
Mod. Okamura
Mod. en leyes de potencia

Mod. Egli
Mod. Walfisch
Mod. Ikegami
Mod. Longley Rice

Mod. Friis
Difracción por objetos delgados
Mod. dos rayos

El modelo de dos rayos

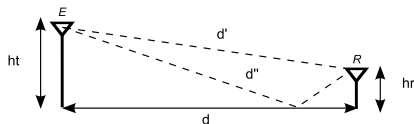
El modelo de dos rayos es uno de los más sencillos que toma en cuenta las reflexiones del suelo. Se recibe la onda del suelo con un desfase Φ y un coeficiente de reflexión R .



Las pérdidas son la suma del rayo directo y de una reflexión directa:

$$E_r(d) = E_{LOS} + E_R = \frac{E_0}{d'} e^{j\omega_c(t-c/d')} + R \frac{E_0}{d''} e^{j\omega_c(t-c/d'')} \quad (1)$$

El modelo de dos rayos



Suponemos que la reflexión es total y que se invierte la fase de la componente del campo: $R = -1$.

$$E_r = \frac{E_0}{d'} e^{j\omega_c(t-c/d')} - \frac{E_0}{d''} e^{j\omega_c(t-c/d'')} \quad (2)$$

La diferencia de camino se expresa como:

$$\delta = d'' - d' = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \simeq \frac{2h_t h_r}{d} \quad (3)$$

La diferencia de fase puede expresarse como

$$\theta_\delta = \frac{2\pi\delta}{\lambda} \quad (4)$$

El modelo de dos rayos

Para distancias grandes se puede hacer una serie de aproximaciones:

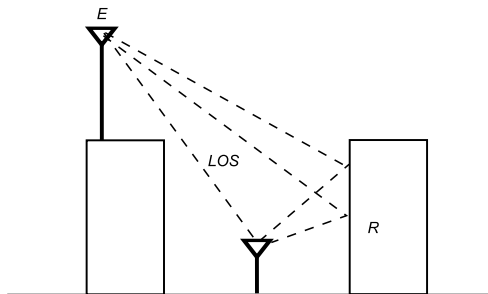
$$|E_r| = \frac{E_0}{d} \sqrt{2 - 2\cos\theta_\delta} = \frac{2E_0}{d} \sin(\theta_\delta/2) \quad (5)$$

Para ángulos pequeños: $\theta_\delta \simeq \frac{2\pi 2h_t h_r}{\lambda d}$ y $\sin \theta \simeq \theta$, llegamos a la expresión:

$$|E_{TOT}| = \frac{2E_0}{d} \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \text{ V/m} \quad (6)$$

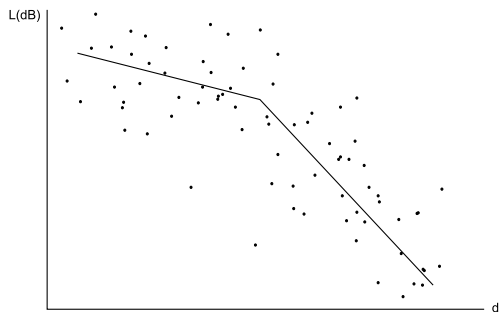
El modelo del cañon

Se puede obtener un modelo simplificado de propagación en un cañon de simbolizado por dos un receptor entre dos edificios altos.



Modelos empiricos y semi-empiricos

Se han construidos modelos empiricos de perdidas en entornos variados a partir de medidas realizadas *in situ*. Estos modelos reflejan la realidad y pueden dar una idea del peor caso, es decir una cuato superior razonable para las perdidas.



En la figura se presenta un ejemplo de como se ajustan medidas experimentales a un modelo a trozos.

Modelos en ley de potencia

Los modelos en ley de potencia se basan en la observación que las pérdidas en media pueden expresarse en función de un exponente:

$$L \propto \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \quad (7)$$

donde el exponente n depende del entorno:

Entorno	Exponente
Espacio libre	2
Urbano	2.7 hasta 3.5
Urbano con sombra	3 hasta 5
En un edificio LOS	1.6 hasta 1.8
En un edificio NLOS	4 hasta 6

Modelo de Okamura

Aplicación: 150Mhz hasta 1920Mhz y de 1km hasta 20km.

Es uno de los modelos de predicción mas usados. Su expresión es:

$$L_{50} = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_r) - G(h_t) - G_{AREA} \quad (8)$$

Con los siguientes elementos:

- ▶ L_F son las perdidas en espacio libre.
- ▶ A_{mu} las predidas adicionales en media.
- ▶ G es un termino de corrección para la altura de la antena.
- ▶ G_{AREA} es un termino dependiente del entorno.

Modelo de Hata

Esta basado en el modelo de Okamura y por tanto tiene una expresión similar:

$$L_{50}(urban) = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_t \dots \quad (9) \\ \dots - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log h_r) \log d$$

Con las siguientes formulas adicionales. Para una ciudad media:

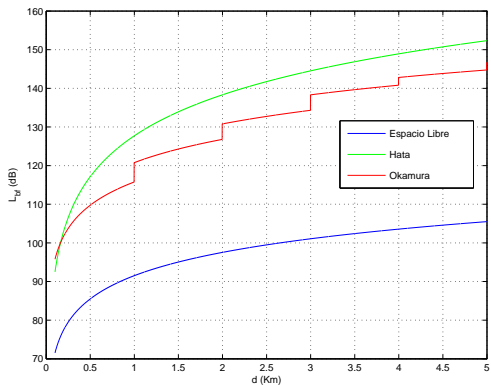
$$a(h_r) = (1,1 \log f_c - 0,7)h_r - (1,56 \log f_c - 0,8) \quad (10)$$

Para una ciudad grande:

$$a(h_r) = 8,29(\log 1,54h_r)^2 - 1,1dB \quad f_c \leq 300MHz \\ a(h_r) = 3,2(\log 11,75h_r)^2 - 4,97dB \quad f_c > 300MHz \quad (11)$$

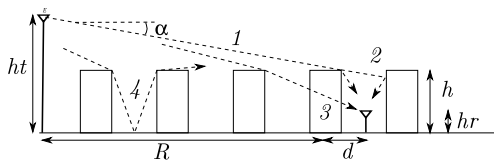
f_c esta en MHz, d en km y las alturas h_r y h_e en m.

Una comparación de 3 modelos



Modelo Walfisch-Bertoni

Walfisch y Bertoni se interesaron al efecto de la altura de los edificios. Propusieron un modelo teórico tomando en cuenta la altura de estos.

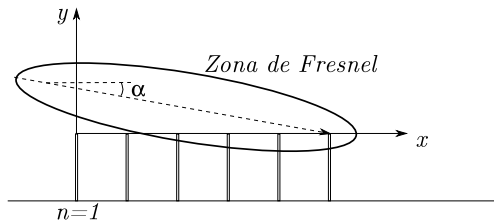


En este modelo se desprecia:

- ▶ Camino 3: Los rayos que penetran son demasiado atenuados.
- ▶ Camino 4: Las múltiples difracción son despreciables.

Modelo Walfisch-Bertoni

Proponen un cálculo teniendo en cuenta los edificios para ángulos α pequeños. Integrando las ecuaciones de Huygens-Kirchhoff para una serie de pantallas finas.



Sumando las contribuciones de las difracciones para las pantallas en la primera zona de Fresnel se obtiene un modelo para el campo al nivel del tejado:

$$Q(\alpha) \simeq 0,1 \left(\frac{\alpha \sqrt{d/\lambda}}{0,03} \right)^{0,9} \quad (12)$$

Modelo Walfisch-Bertoni

Al final incluyendo las pérdidas para que la señal llegue al suelo y otros factores llegan a un nivel de pérdidas suplementarias (frente al espacio libre):

$$L_{ex} = 57,1 + A + \log f_c + 18 \log R_k - 18 \log H - 18 \log \left(1 - \frac{R_k^2}{17H}\right) \quad (13)$$

con R_k la distancia en km y $H = h_t - h$. El último término depende del radio de la tierra y se puede despreciar.

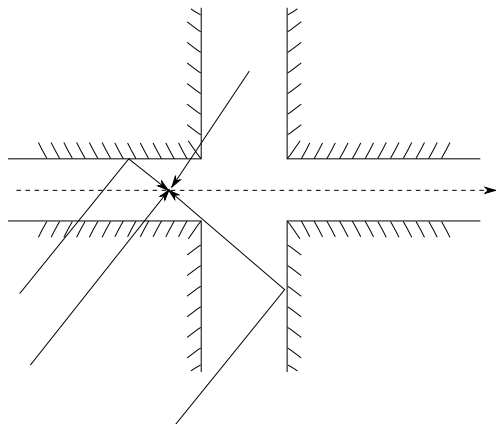
Por otra parte el factor A es:

$$A = 5 \log \left[\left(\frac{d}{2}\right)^2 + (h - h_r)^2 \right] - 9 \log d + 20 \log [\tan^{-1} [2(h - h_r)/d]] \quad (14)$$

Con d es la distancia media entre dos edificios.

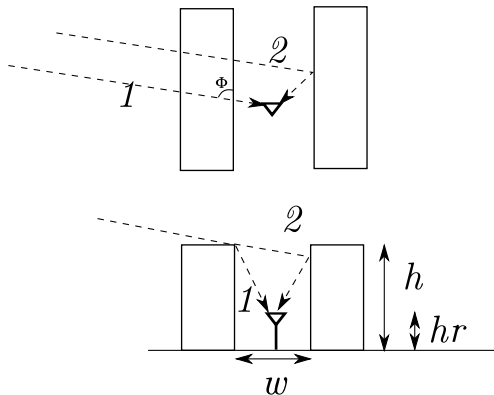
Modelo de Ikegami

El modelo de Ikegami es anterior al modelo de Walfisch. Es también un modelo empírico pero con basado en la teoría de geometría de rayos.



Modelo de Ikegami

En el modelo de Ikegami solo toman en cuenta las dos contribuciones del primer rayo difractado 1 y el segundo rayo 2



Modelo de Ikegami

Las perdidas se calculan como:

$$L = -5,8 - 20 \log \left(1 + \frac{3}{L_r^2} \right) - 10 \log W \dots \quad (15)$$
$$\dots + 20 \log(H - h_r) + 10 \log(\sin\Phi) + 10 \log f$$

con Φ el angulo de calle, L_r son las perdidas por reflexión, y W la anchura de la calle

Modelo de COST 231-Walfisch-Ikegami

El modelo del cost 231 se apoya en los dos modelos anteriores para predecir las pérdidas.

Se traduce en la suma de las pérdidas por espacio libre L_b con las pérdidas de los modelos de Ikegami y un modelo extendido de Walfisch-Bertoni. Tenemos para el LOS:

$$L_b = 42,6 + 26 \log d + 20 \log f \quad (16)$$

Las pérdidas totales se computan para el caso NLOS:

$$L_{COST} = L_{free} + \begin{cases} L_{rts} + L_{msd} & \text{si } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ 0 & \text{si } L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \quad (17)$$

con L_{rts} son las pérdidas del modelo de Ikegami (Roof to Street) y en el otro caso las pérdidas del modelo de Walfisch (multiple screen diffraction).

Modelo de COST 231-Walfisch-Ikegami

Formulación del cost de las perdidas en el modelo de Ikegami.

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \log W + 20 \log(H - h_r) + 10 \log f + L_{ori} \quad (18)$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354\phi & 0 \leq \phi < 35 \\ 2,5 + 0,075(\phi - 35) & 35 \leq \phi < 55 \\ 4,0 - 0,114(\phi - 55) & 55 \leq \phi < 90 \end{cases} \quad (19)$$

Modelo de COST 231-Walfisch-Ikegami

Para las pérdidas de difracción el comité del COST a incluido correcciones al modelo de Walfisch así como mejoras.

$$L_{m\text{ds}} = L_{b\text{sh}} + k_a + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (20)$$

$$L_{b\text{sh}} = \begin{cases} -18 \log(1 + (h_t - h)) & h_t > h \text{ antena por encima del tejado} \\ 0 & h_t < h \end{cases} \quad (21)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_t > h \\ 54 - 0,8(h_t - h) & h_t \leq h \text{ y } d > 0,5\text{km} \\ 54 - 0,8(h_t - h) \frac{d}{0,5} & h_t \leq h \text{ y } d < 0,5\text{km} \end{cases} \quad (22)$$

Modelo de COST 231-Walfisch-Ikegami

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_t > h \\ 18 - 15(h_t - h)/h & h_t \leq h \end{cases} \quad (23)$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0,7\left(\frac{f}{925} - 1\right) & \text{entorno suburbano} \\ 1,5\left(\frac{f}{925} - 1\right) & \text{centro urbano} \end{cases} \quad (24)$$

k_a representa las pérdidas debidas a la altura de la antena emisora.
 k_d y k_f son términos de corrección relativos a la difracción.

Recomendacion ITU-R 1411-3

La recomendacion de la ITU-R recoge todas los aspectos anteriores para la estimacion de las perdidas. Se basa en varios modelos segun el tipo de escenario (con vista directa, con difraccion ect). Tambien recoge modelos de dispersión multitrayecto y valores típicos de dispersión.

Propagación en microcelulas

Existe un modelo basado en el modelo de dos rayos que proporciona una estimación con leyes lineales a trozos:

$$L(d) = \begin{cases} 10n_1 \log d + P_1 & 1 < d < d_{brk} \\ 10(n_1 - n_2) \log d_{brk} + 10n_2 \log d + P_1 & d > d_{brk} \end{cases} \quad (25)$$

n_1 y n_2 se calculan a partir de medidas empiricas. El parametro d_{brk} es el punto de ruptura de Fresnel, corresponde a la distancia de la primera zona de Fresnel. También se obtiene d_{brk} gracias a un ajuste de las curvas con los minimización del error cuadratico. P_1 son las perdidas a 1 m para la frecuencia dada en el espacio libre. Los exponentes n_1 y n_2 así como d_{brk} :

Ajuste Fresnel				Ajuste minimos cuadrados			
n_1	n_2	σ	d_f	n_1	n_2	σ	d_b
2.18	3.29	8.76	159	2.20	9.36	8.64	884

Propagación en edificios

Dentro de los edificios se suman nuevas pérdidas debidos a las paredes, los suelos, las difracciones y dispersiones varias. En 1992, Rappaport *et. al.* propusieron un modelo empirico basado en medidas:

$$L(d) = L_f(d_0) + 10n \log d/d_0 + X_\sigma \quad (26)$$

con n un exponente depediendo del entorno y d_0 una distancia de referencia (generalmente 1m). X_σ es un proceso aleatorio siguiendo una ley log-normal y de desvacion σ depediente del entorno.

Propagación en edificios

TABLE I
THE PARAMETERS MEAN PATH LOSS EXPONENT n AND STANDARD
DEVIATION σ FOR USE IN THE DISTANCE-DEPENDENT
PATH LOSS MODEL IN (2) BASED ON MEASUREMENTS AT A
CARRIER FREQUENCY OF 914 MHz

	n	σ (dB)	Number of Locations
All Buildings:			
All Locations	3.14	16.3	634
Same Floor	2.76	12.9	501
Through 1 Floor	4.19	5.1	73
Through 2 Floors	5.04	6.5	30
Through 3 Floors	5.22	6.7	30
Grocery Store	1.81	5.2	89
Retail Store	2.18	8.7	137
Office Building 1:			
Entire Building	3.54	12.8	320
Same Floor	3.27	11.2	238
West Wing 5th Floor	2.68	8.1	104
Central Wing 5th	4.01	4.3	118
West Wing 4th Floor	3.18	4.4	120
Office Building 2:			
Entire Building	4.33	13.3	100
Same Floor	3.25	5.2	37

Propagación en edificios

Mejora del modelo incluyendo las pérdidas de las paredes y suelos:

$$L(d) = L_f(d_0) + 10n \log d/d_0 + \sum_{q=1}^Q FAF(q) + \sum_{p=1}^P WAF(p) + X_\sigma \quad (27)$$

FAF: Floor attenuation

WAF: Wall attenuation

Propagación en edificios

TABLE II
AVERAGE FLOOR ATTENUATION FACTOR IN DECIBELS FOR ONE,
TWO, THREE, AND FOUR FLOORS BETWEEN THE TRANSMITTER
AND RECEIVER IN THE TWO OFFICE BUILDINGS; ALSO
PRESENTED ARE THE STANDARD DEVIATION IN DECIBELS
AND THE NUMBER OF LOCATIONS USED TO COMPUTE
THE STATISTICS

	FAF (dB)	σ (dB)	Number of Locations
Office Building 1:			
Through 1 floor	12.9	7.0	52
Through 2 floors	18.7	2.8	9
Through 3 floors	24.4	1.7	9
Through 4 floors	27.0	1.5	9
Office Building 2:			
Through 1 floor	16.2	2.9	21
Through 2 floors	27.5	5.4	21
Through 3 floors	31.6	7.2	21

Propagación en edificios: modelo de la ITU

El modelo de la ITU-R para propagación en edificios se define como:

$$L_{total} = 20 \log f + 10N \log d + L_f(n) - 28 \quad (28)$$

N : coeficiente de pérdida de potencia. L_f : pérdida de penetración en el suelo. n : número de pisos.

Propagación en edificios

ITU-R P1238

CUADRO 2

Coefficientes de pérdida de potencia, N , para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores

Frecuencia	Edificio residencial	Edificio de oficinas	Edificio comercial
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 ⁽¹⁾	–	22	17
70 GHz ⁽¹⁾	–	22	–

Propagación en edificios

ITU-R P1238

Factores de pérdida de penetración en el suelo, L_f (dB), siendo n el número de pisos penetrados, para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores ($n \geq 1$)

Frecuencia	Edificio residencial	Edificio de oficinas	Edificio comercial
900 MHz	-	9 (1 piso) 19 (2 pisos) 24 (3 pisos)	-
1,8-2 GHz	$4n$	$15 + 4(n - 1)$	$6 + 3(n - 1)$
5,2 GHz	-	16 (1 piso)	-

Bibliografía

- ▶ J.D. Parson, the Mobile Radio Channel, Wiley, 2000
- ▶ T. Rappaport, Wireless Communication, Prentice Hall, 1996
- ▶ Ikegami, F.; Yoshida, S.; Takeuchi, T.; Umehira, M., Propagation factors controlling mean field strength on urban streets, Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol.32, 8, 822-829, 1984
- ▶ Sarkar, T.K.; Zhong Ji; Kyungjung Kim; Medouri, A.; Salazar-Palma, M., A survey of various propagation models for mobile communication, Antennas and Propagation Magazine, IEEE , vol.45, 3, 51-82, 2003
- ▶ Walfisch, J.; Bertoni, H.L., A theoretical model of UHF propagation in urban environments, Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.36, 12, 1788-1796, Dec 1988
- ▶ Kozono, S.; Watanabe, K., "Influence of Environmental Buildings on UHF Land Mobile Radio Propagation," Communications, IEEE Transactions on, vol.25, 10, 1133-1143, 1977
- ▶ Seidel, S.Y.; Rappaport, T.S., 914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings, Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.40, 2, 207-217, 1992
- ▶ Rappaport, T.S.; Sandhu, S., Radio-wave propagation for emerging wireless personal-communication systems, Antennas and Propagation Magazine, IEEE , vol.36, 5, 14-24, 1994
- ▶ Dudley, D.G.; Lienard, M.; Mahmoud, S.F.; Degauque, P., "Wireless propagation in tunnels, Antennas and Propagation Magazine, IEEE , vol.49, 2, 11-26, 2007
- ▶ Molisch, A. F.; Cassioli, D.; Chong, C.-C.; Emami, S.; Fort, A.; Kannan, B.; Karedal, J.; Kunisch, J.; Schantz, H. G.; Siwiak, K.; Win, M. Z., .A Comprehensive Standardized Model for Ultrawideband Propagation Channels, Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.54, 11, 3151-3166, 2006
- ▶ Xia, H.H., .A simplified analytical model for predicting path loss in urban and suburban environments," Vehicular Technology, IEEE Transactions on , vol.46, 4, 1040-1046, 1997
- ▶ COST 231 group final report: D.J. Cichon, T. Kürner, Capitulo 4 Propagation Prediction Models.
- ▶ Recomendación UIT-R: P1411 Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 Ghz
- ▶ Recomendación UIT-R: P1238 Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones en interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz