



Modelos de Propagación

- ¿Que son los modelos de propagación?
- ¿Que aplicación tienen?
- ¿Existe alguno mejor que otro?
- ¿Como podemos compararlos?, ¿En base a que?



¿Que són los modelos de propagación?

- Los modelos de propagación son aquellos modelos que nos permiten obtener una “noción” estimada de la pérdida de potencia de la señal electromagnética que se propaga en un entorno y que es recibida en algún punto.
- La propagación de la EM depende de las características del canal. Por lo tanto, no tenemos un modelo que brinde exactamente la pérdida en diferentes puntos de todos los entornos de propagación. (NO EXISTE UN MODELO GENERAL).
- Existen modelos que brindan mayor precisión que otros en algunos casos. Veremos ejemplos más adelante.



Factores que afectan a los modelos

- Algunos modelos se ven afectados por los efectos de multicaminos.
- La variabilidad de la posición relativa del receptor también afecta (Frecuencia Doppler).
- Los entornos de propagación, fundamentalmente los entornos urbanos, no se comportan todos de la misma manera.
- Se debe tener en cuenta, que estos brindan una estimación.



Criterios de Estimación

- ¿Existen criterios para afirmar que una estimación de pérdida es correcta?
- Uso de percentiles (50% -- median path loss, 70%, 90% y 99%).
- Depende de los requerimientos de nuestra planificación, de que tan precisa querramos que sea nuestra estimación.
- Además no nos debemos de olvidar de los márgenes que debemos considerar en toda planificación.



Tipos de modelos

- Modelos Empíricos
- Modelos Semi-Empíricos
- Modelos Teóricos – Trazado de rayos, Técnicas UTD.



Modelos Empíricos

- Son aquellos basados en medidas realizadas sobre un entorno en particular.
- Se deben tomar varias medidas para obtener resultados acordes a la realidad.
- Útiles como primera estimación en una planificación.
(Tomar en cuenta grandes márgenes de fading para una buena predicción).



Modelos Semi-Empíricos

- Se toman en cuenta medidas realizadas, pero éstas luego se ajustan a cierto modelo establecido teóricamente.
- Los modelos se infieren tomando en cuenta características del terreno, altura de antenas, etc.
- Se consideran distintos escenarios, pero se realiza la predicción entorno a uno de éstos, luego, en los otros escenarios se consideran factores de ajuste (factor de ajuste de altura, altura de obstáculos y densidad de los mismos).



Modelos Teóricos o Determinísticos

- Son aquellos basados meramente en la teoría de propagación del rayo.
- Se consideran técnicas como el trazado de rayos, técnicas UTD (Uniform Theory Diffraction).
- Son modelos determinísticos
- Alta carga computacional y mantenimiento de grandes base de datos sobre topografía del terreno.



Modelos Empíricos

- Hata
- Okumura
- Lee
- Young



Hata

- Automatización del modelo de Okumura.
- Dedujo las ecuaciones a partir de las curvas de Okumura por regresión simple.
- f - frecuencia, h_T - altura de tx (30 a 200m).
- h_m - altura del receptor (1 a 10 m).
- d - distancia (1 a 20 km)



Hata

- Ciudad media- pequeña

$$a(h_m) = (1,1 \log f - 0,7)h_m - (1,56 \log f - 0,8)$$

- Ciudad grande

$$a(h_m) = 8,29(\log 1,54h_m)^2 - 1,1 \quad f \leq 200MHz$$

$$a(h_m) = 3,2(\log 11,75h_m)^2 - 4,97 \quad f > 200MHz$$

- Zona suburbana

$$L_{bs} = L_{bu} - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

- Zona rural

$$L_{bs} = L_{bu} - 4,78[\log f]^2 + 18,33 \log f - 40,94$$



Okumura

- Basado en medidas en Tokio.
- Presenta la atenuación adicional a espacio libre, para terreno suave y entorno urbano.
- No se basa en ningún modelo físico.
- Curvas para frecuencias de 150 a 1500 MHz.
- Curvas para terreno rugoso y suave.
- Altura de antena de RB aprox. 200 m.



Lee

- Ajuste de predicciones por ajuste de rectas por regresión lineal.
- Medidas en una ciudad determinada.
- No toma en cuenta condiciones del entorno.
- Distancias mayores a 1 km.
- C - depende de la f y h_T y h_R .



Lee

- d – distancia.
- n – parámetro función de la h_T y del tipo de medio.
- Sirve para entorno urbano.
- C se estima con recorridos de prueba.
- N se ajusta con las medidas.



Young

- Se basó en medidas en N.Y.
- Presenta curvas de β en función del porcentaje de sitios del área comprendidos.
- h_T - altura transmisor, h_R - altura receptor, r - distancia
- β - clutter factor

$$L_{50} = G_T G_R \left(\frac{h_T h_R}{r^2} \right)^2 \beta$$



Modelos Semi-Empíricos

- Longley-Rice (Modelado del terreno).
- COST 231 -- Okumura-Hata.
- COST 231 – Walfish - Ikegami.



Modelos Semi-Empíricos

- Medidas realizadas se ajustan a un modelo teórico.
- Se manejan parámetros de ajuste dependiendo del caso particular de planificación.
- Más útil que los empíricos, en los casos en donde la realización de medidas es difícil o no es suficiente.



Longley - Rice

- Desarrollado en 1968 por NTIA
- Modelo del terreno
- Se debe contar con una base de datos del terreno confiable.
- El modelo toma en cuenta, las características del terreno, curvatura de la tierra, el clima, altura de las antenas, ángulos de elevación, etc.



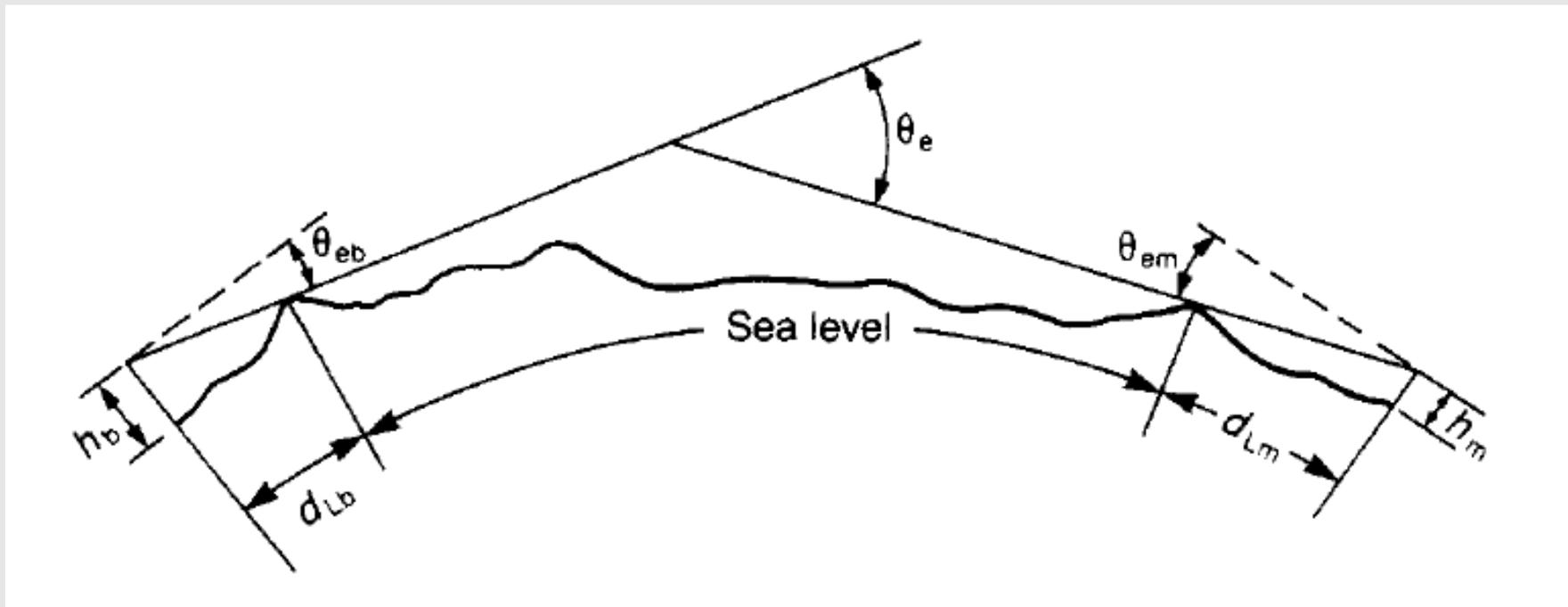
Longley-Rice

- Rango de validación del modelo: 40 Mhz – 20 Ghz
- Rango de distancia del enlace: 1 Km – 2000 Km
- Rango de altura de antenas: 0,5 m – 3000 m
- Modos de funcionamiento: P to P, Area to Area



Longley-Rice

- Implementaciones determinan entradas que describen el perfil – ver figura.
- Única forma de calcular las pérdidas por difracción.





Longley-Rice

- Usa como modelo primario doble reflexión en el suelo y la difracción en obstáculos.
- Usa la teoría forward scatter para considerar la dispersión troposférica (troposcatter).
- Para estimar las pérdidas por difracción en campo lejano usa el método de Van Der Pol-Bremmer.
- Factores que le afectan: clutter cerca del receptor y la contribución del multicamino



COST 231

- Cost 231 – Hata
- Cost 231-Walfish - Ikegami



COST 231 - Hata

- Cost231- Hata.
- $P_{\text{loss}} = 46.3 + 33.9\log(f) - 13.82\log(h_T) + [44.9 - 6.55\log(h_T)]\log(d) - a(h_R) + C_m$
- donde $a(h_R) = (1.1\log(f) - 0.7)h_R - 1.56\log(f) - 0.8$
- $C_m = 0\text{dB}$ para ciudades medias y suburbana
- $C_m = 3\text{dB}$ para zonas densamente urbanas
- Aplicable con $1500\text{MHz} = f = 2000\text{MHz}$

$$30\text{m} = h_T = 200\text{m}$$

$$1\text{m} = h_R = 10\text{m}$$

$$1\text{km} = d = 20\text{km}$$

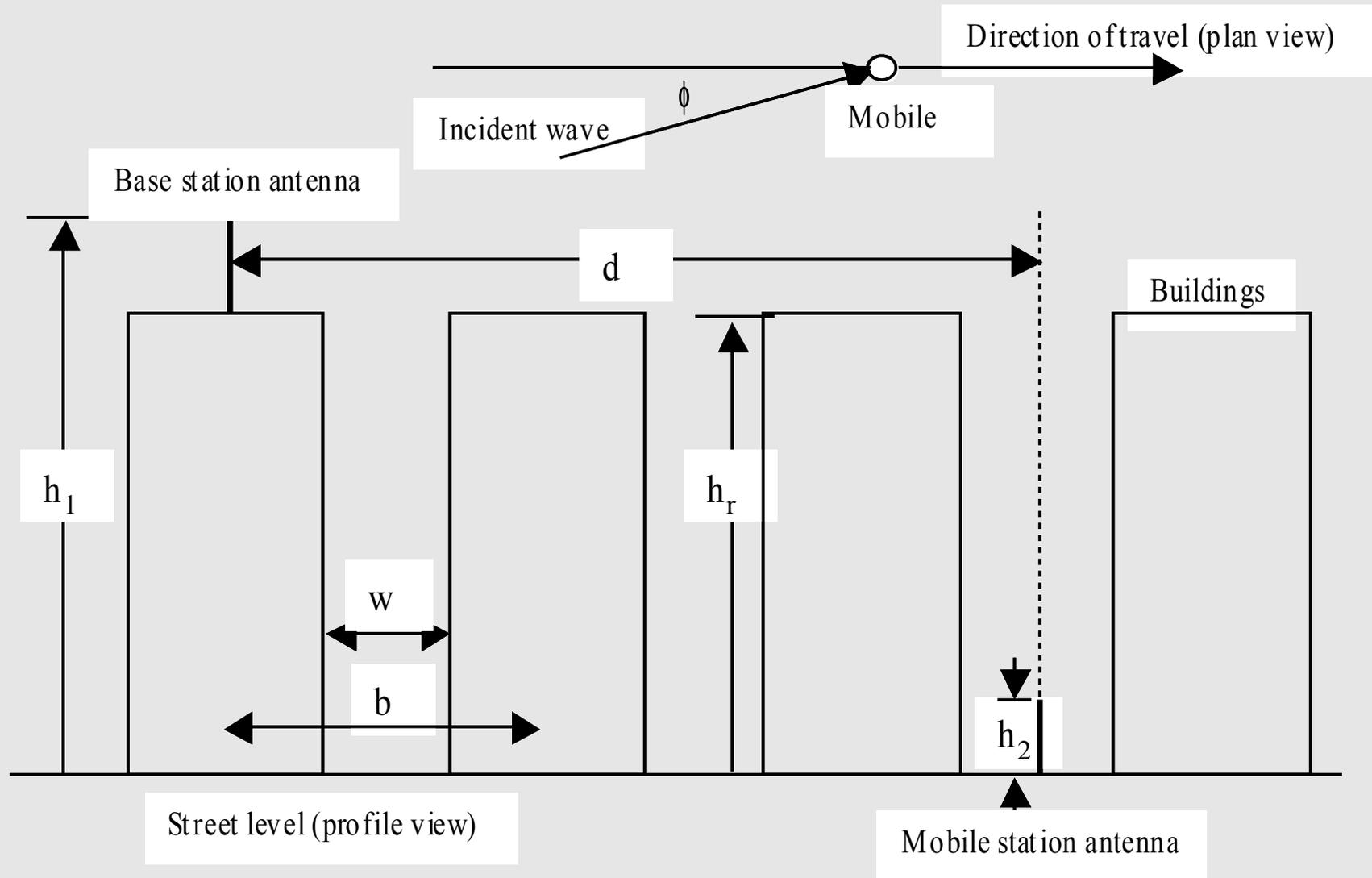


COST 231 – Walfish - Ikegami

- El modelo de Walfish Ikegami (WIM) fue desarrollado para obtener una medida de datos de propagación aceptable para frecuencias en el rango 800 MHz – 1200 MHz.
- Utilizado para celdas con un rango de radios de 0.02 a 5 km.
- El modelo está restringido a situaciones donde la antena transmisora se encuentre por encima de los “techos” de los edificios cerca de la estación base.
- Es posible incluir parámetros para considerar las características del terreno (rugosidad, terreno plano, etc.)



COST 231 – Walfish - Ikegami





COST 231 – Walfish - Ikegami

Restricciones de uso:

- Rango de frecuencias de uso: 800 – 2000 MHz
- Rango de altura de antena Tx, h_1 : 4 – 50 m
- Rango de altura de la antena móvil Rx: h_2 : 1 – 3 m
- Distancia del enlace: d : 0.02 – 5 km
- Altura de techos de edificios: h_r , [m]
- Ancho de calle: w , [m]
- Separación de edificios: b , [m]
- Orientación de la calle respecto al rayo directo : Φ , [°]



COST 231 – Walfish - Ikegami

- Factores de pérdida considerados:

$$L_{bsh} = f(h_1, h_r)$$

$$L_b = f(L_0, L_{rts}, L_{msd})$$

$$L_{ori} = f(\Phi)$$



COST 231 – Walfish – Ikegami (L_{bsh})

- Ganancia en sombra (pérdida negativa) que ocurre cuando la antena tx (estación base) posee mayor altura que la altura a la que se encuentran los techos edilicios.
- h_1 = Es la altura de la antena tx por sobre el nivel de referencia del terreno.
- h_r = Es la altura de los techos de las edificaciones.



COST 231 – Walfish – Ikegami (L_b)

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} \geq 0 \\ L_0, & L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases}$$

- Donde

d_{km} es la distancia o radio de la celda en km.

f_{MHz} es la frecuencia de trabajo en MHz.

L_{rts} Difracción en el techo y pérdida por dispersión.

L_{msd} Difracción por multi-pantalla.

w Es el ancho de la calle expresado en metros.

h_r Es la altura de los edificios expresada en metros.

h_2 Es la altura de la antena móvil receptora sobre el nivel de referencia del terreno expresada en metros.



COST 231 – Walfish – Ikegami (L_b)

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f_{MHz} + 20 \log(h_r - h_2) + L_{ori}$$

$$L_{msd} = L_{bsh} + ka + kd \log d_{km} + kf \log f_{MHz} - 9 \log b$$

- k_a es un factor que considera el grado de dependencia de las pérdidas multipantalla (multiscreen loss) en una celda o enlace de distancia d_{km} .

$$ka = \begin{cases} 54, & h_1 > h_r \\ 54 - 0.8(h_1 - h_r), & \text{for } d_{km} \geq 0.5, h_1 \leq h_r \\ 54 - 1.6d_{km}(h_1 - h_r), & \text{for } d_{km} < 0.5, h_1 \leq h_r \end{cases}$$



COST 231 – Walfish – Ikegami (L_{ori})

- L_{ori} = Pérdida debida a la orientación relativa de la calle con respecto al camino directo de propagación del rayo.
- ϕ = Es la orientación de la calle con respecto al camino directo de propagación del rayo.

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi, & 0 \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35), & 35 \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55), & 55 \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases}$$



Modelos Teóricos

- Minimiza el tiempo de computación, sustituyendo varias aristas por una más alta.
- Se precisa altura y espaciado medio entre obstáculos.
- Se calculan los parámetros de Vogler y se desprecian las aristas con $b_m < -2,5$ ($-0,9$).
- Hasta reducir a 5 aristas.
- Se calculan determinadas atenuaciones y se llega a una atenuación total, realizando menos cálculos.



Trazado de Rayos

- Generalmente tienen un motor de lanzamiento de rayos.
- Usan UTD (Uniform Theory Diffraction).
- Factores considerados:
 - Coeficiente de difracción.
 - k (numero de onda).
 - Base de datos del terreno (Costo de procesamiento).
 - Contornos de edificios y alturas.
 - Rangos de precisión, típicamente +/- 2m.



Perfiles de terrenos

