



Modelos Empíricos de predicción de la Propagación

Ing. Jhon Jairo Padilla Aguilar
Ph.D. Ingeniería Telemática



Introducción

- Los métodos de predicción de la propagación vistos hasta ahora:
 - Requieren del conocimiento del perfil orográfico entre el Transmisor y el Receptor.
 - Son idóneos para enlaces punto a punto.
- Pero en la propagación Punto a Zona:
 - Existe una gran variabilidad de trayectos de propagación
 - Se requiere un estudio con por lo menos 12 radiales azimutales.



Introducción

Pero la modelización de los obstáculos es difícil en casos de:

- Terrenos orográficamente muy irregulares
- Entornos urbanos
- Se requieren métodos empíricos de estimación de pérdidas de propagación y la intensidad del campo.
- Estos métodos requieren de:
 - Amplias campañas de medición
 - Correlación de las medidas con las características del medio de propagación



Introducción

- Ventajas:
 - Proporcionan una estimación rápida de la pérdida de propagación
 - Su uso es sencillo y rápido
- Desventajas:
 - Su exactitud no es muy buena
 - Media cuadrática del error:
 - $10\text{dB} < |V_r.\text{estimado} - V_r.\text{Medido}| < 14\text{dB}$



Introducción

- Los métodos empíricos más usados y recomendados por la UIT-R son:
 - Lee
 - Hata
 - Recomendación UIT-R 529
 - Cost 231
 - Walfish-Ikegami



Método de Lee

Modelos Empíricos



Introducción

- Se basa en el modelo de tierra plana
- Proporciona la potencia recibida en dBm para dos tipos de entorno:
 - Entorno Urbano (expresiones para 3 ciudades típicas)
 - Sub-Urbano



Parámetros utilizados

Parámetro	Valor
Altura antena Tx (h_t)	30.5m
Altura antena Rx (h_r)	3m
Potencia del Tx (p_t)	10w (40 dBm)
Ganancia antena Tx (g_{td})	4 (6 dBd)
Ganancia antena Rx (g_{rd})	1 (0 dBd)
Frecuencia	900 Mhz

Expresiones

- **Zona Urbana:**

- $Pr(\text{dBm}) = -53.9 - 38.4 \log d(\text{km}) - n \log(f/900) + 10 \log \alpha_0$

- **Zona urbana (Filadelfia):**

- $Pr(\text{dBm}) = -62.5 - 36.8 \log d(\text{km}) - n \log(f/900) + 10 \log \alpha_0$

- **Zona urbana (Newark):**

- $Pr(\text{dBm}) = -55.2 - 43.1 \log d(\text{km}) - n \log(f/900) + 10 \log \alpha_0$

- **Zona urbana (Tokio):**

- $Pr(\text{dBm}) = -77.8 - 30.5 \log d(\text{km}) - n \log(f/900) + 10 \log \alpha_0$

- Donde: $n=2$ para $f < 450 \text{ Mhz}$ y zona suburbana

$n=3$ para $f > 450 \text{ Mhz}$ y zona urbana $\alpha_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5$
y $\alpha_1 = (h_t/30.5)^2$; $\alpha_2 = (h_r/3)$; $\alpha_3 = (p_t/10)$; $\alpha_4 = (g_{td}/4)$; $\alpha_5 = g_{rd}$



Método de Okumura- Hata

Métodos Empíricos



Modelo de Okumura

- Okumura presentó unas curvas estándar de propagación para radiocomunicaciones móviles (medidas tomadas en Japón)
- Proporcionan medidas de intensidad de campo para:
 - Medio Urbano
 - Diferentes alturas efectivas de antenas
 - Bandas de frecuencia: 150, 450, 900 Mhz
 - Potencia radiada: 1Kw
 - Altura antena Rx: 1.5m (típico de aplicaciones móviles)

Modelo de Okumura



- Además, el modelo presenta correcciones para:
 - Ondulación (Δh)
 - Pendiente del terreno
 - Heterogeneidad del terreno (trayectos mixtos tierra-mar)
 - Presencia de obstáculos significativos
 - Altura de antena del Rx
 - Potencia radiada aparente
 - Zonas urbanas (orientación de las calles, densidad de las edificaciones)
- Este método fue muy usado (resultados acordes con las mediciones)



Modelo de Hata

- Hata obtuvo expresiones numéricas para las curvas de propagación de Okumura.
- Además incluyó las correcciones más usadas en comunicaciones móviles
- Obtuvo expresiones para calcular las pérdidas básicas en entornos:
 - Urbanos
 - Suburbanos
 - Rurales



Modelo de Hata

- Restricciones:
 - No tiene en cuenta la ondulación del terreno
 - No tiene en cuenta el grado de urbanización
 - Las frecuencias deben ser menores de 1500Mhz
- Extensión del Modelo de Hata para la banda de 1800 Mhz: Método COST 231-Hata

Fórmula básica de Hata: Medio Urbano

Fórmula básica de Hata para medio urbano:

$$L_b = 69,55 + 26,26 \log f - 13,82 \log h_t - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d$$

donde f : frecuencia (MHz) $150 \leq f \leq 1500$ (MHz)

h_t : altura efectiva antena Tx (m) $30 \leq h_t \leq 200$ (m)

h_m : altura sobre el suelo antena Rx (m) $1 \leq h_m \leq 10$ m

d : Distancia (en km). $1 \leq d \leq 20$ km.

$a(h_m)$: corrección por altura h_m .

↓ depende de la altura del móvil

si $h_m = 1.5$ m $\rightarrow a(h_m) = 0$

Para otras alturas de h_m : $\rightarrow a(h_m)$ depende del tipo de ciudad

• Ciudad media-pequeña: $a(h_m) = (1,1 \log f - 0,7) h_m - (1,56 \log f - 0,8)$

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

$a(h_m) = 3,2 (\log 11,75 h_m)^2 - 4,97$ ($f \geq 400$ MHz)

Modelo de Hata: Zona Suburbana y rural

Perdida en Zona suburbana (Edif. baja altura, calles anchas)

$$L_{bs} = L_b - 2 [\log (f/28)]^2 - 5,4$$

Perdida en Zona rural (abierto, sin obstrucciones en un entorno inmediato).

$$L_{br} = L_b - 4,78 (\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94$$

Restricciones formula Hata:

- no tiene en cuenta ondulación del terreno
- no tiene en cuenta el grado de urbanización
- $f \leq 1500 \text{ MHz}$

Método Cost-231-HATA

Extensión modelo de Hata (banda de 1800 MHz) ⇒ METODO (COST-231-HATA)

Parámetros:

$$\begin{aligned} 1500 &\leq f \leq 2000 \text{ MHz} \\ 30 &\leq h_t \leq 200 \text{ m} \\ 1 &\leq h_m \leq 10 \text{ m} \\ 1 &\leq d \leq 20 \text{ km} \end{aligned}$$

Perdida básica:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d + c_m$$

donde c_m : Kte

$\begin{cases} 0 \text{ dB} \rightarrow \text{zona suburbana (con densidad de árboles moderada)} \\ 3 \text{ dB} \rightarrow \text{grandes centros metropolitanos} \end{cases}$



Método de Ikegami

Métodos Empíricos

Introducción



- Calcula la potencia media en un sistema de comunicaciones móviles
- Válido para zonas urbanas
- Resultados bastante aproximados a las mediciones reales.
- Se basa en la teoría de rayos y óptica geométrica.
- Supone una estructura ideal de la ciudad:
 - Alturas uniformes de edificios
 - Bloques rectangulares
 - El tejado de los edificios tiene visibilidad directa con la antena transmisora
 - Se desprecia la posible reflexión en el suelo

Introducción

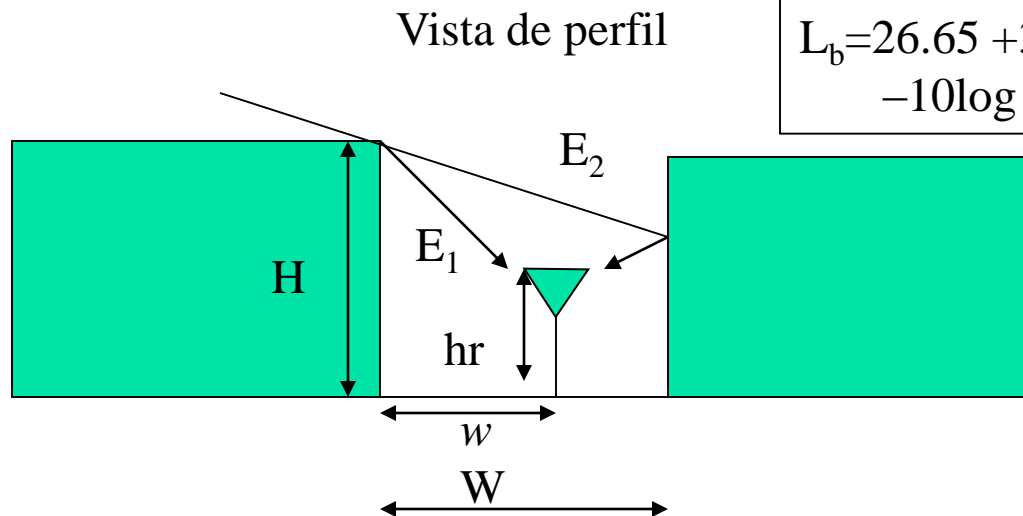
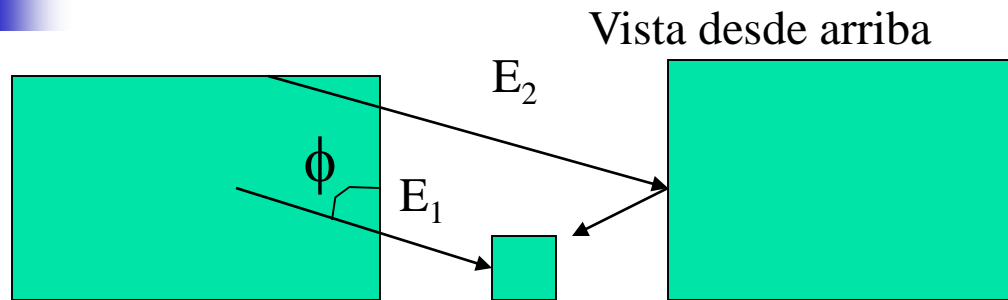


- Este modelo tiene en cuenta:
 - La orientación de las calles
 - La altura de la estación móvil
 - La frecuencia
 - La altura de la estación base
 - La distancia
 - Se desprecian las posibles reflexiones en el suelo
 - Los componentes multitrayecto se dividen en dos grupos: Rayos principales, Rayos secundarios.
- Aprovecha el hecho que los rayos que tienen una sola difracción y reflexión son mucho más importantes que los que tienen múltiples difracciones y reflexiones (**sucede cuando la altura de la antena transmisora es grande**).

Modelo gráfico

d: distancia
Entre Tx y Rx

I_r : depende del
Coeficiente de re-
flexión en las
Fachadas de los
Edificios (aprox.
3.2)



$$L_b = 26.65 + 30 \log f + 20 \log d - 10 \log (1 + 3/I_r^2) - 10 \log W + 20 \log (H - hr) + 10 \log (\sin \phi)$$



Método de Walfish-Bertoni

Métodos empíricos

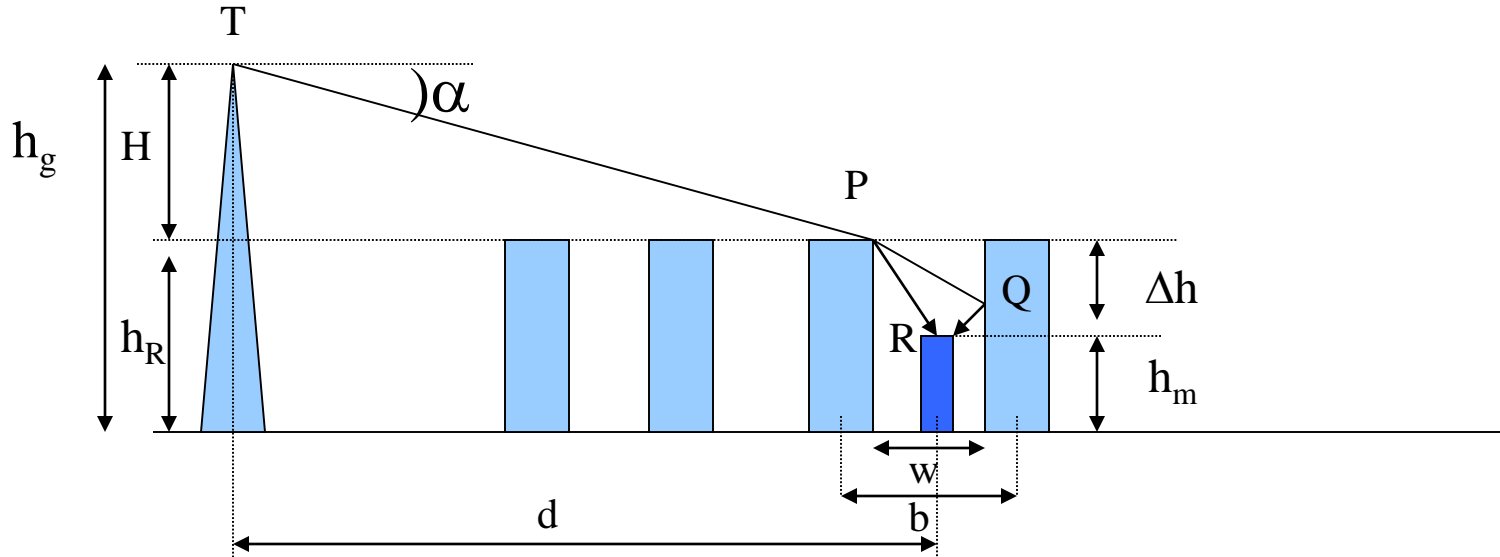


Introducción

- Tiene en cuenta la influencia del conjunto de edificios que se interponen entre el transmisor y el móvil receptor.
- Se aplica para alturas de antenas no muy elevadas pero por encima de los edificios próximos.

Características del modelo

Tiene en cuenta que las ondas principales que llegan desde la antena de transmisión (T) hasta el punto P (en el tejado del edificio próximo al móvil) experimentan una pérdida por difracción debido a la proximidad de los edificios al móvil.





Características del modelo

- *Pérdidas por los edificios cercanos:*

$$L = 57,1 + A + \log f + 18 \log d - 18 \log H - 18 \log [1 - (d^2/17H)]$$

Donde:

$$A = 5 \log [(b/2)^2 + (h - h_m)^2] - 9 \log b + 20 \log [\tan^{-1}(2(h - h_m)/b)]$$

- *Pérdidas totales (sumando pérdidas por espacio libre):*

$$L = 89.55 + A + 21 \log f + 38 \log d - 18 \log H - 18 \log [1 - (d^2/17H)]$$



Ventajas

- Puede usarse incluso si no se dispone de parámetros del entorno urbano ya que el modelo da valores por defecto, aunque esto aumenta el error de predicción de las pérdidas.

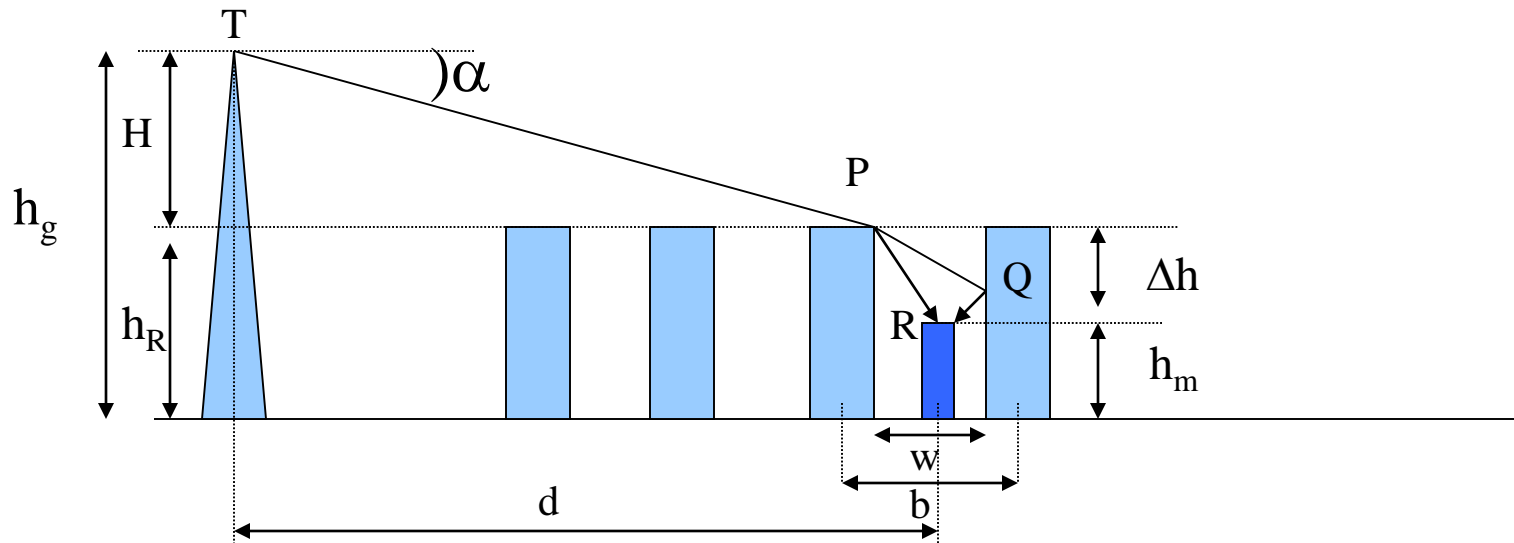


Método de Walfish-Bertoni-Xia

Métodos empíricos

Características

- Es de tipo semi-empírico
- La pérdida básica de propagación se compone de: $L = L_{bf} + L_{msd} + L_{rts}$
 - L_{bf} : Pérdida de espacio libre
 - L_{msd} : Pérdida por difracción multipantalla
 - L_{rts} : Pérdida por difracción final (incluye reflexiones y ángulo de orientación)





Características

- L_{bf} y L_{rts} son independientes de H (altura de antena transmisora sobre los edificios).
- No considera reflexión ni orientación de las calles.
- Tiene un modelo para L_{rts} y otro para L_{msd} .
- La expresión para L_{msd} cambia según la altura H :
 - Antenas muy altas ($H > 0$)
 - Antenas bajas, casi al nivel de los tejados ($H = 0$)
 - Antenas por debajo del nivel de los tejados ($H < 0$)



Método COST 231

Métodos empíricos



Introducción

- Propuesto por el grupo Europeo de trabajo COST 231.
- Es una combinación de los métodos Walfish e Ikegami.
- Es aplicable a entornos con:
 - Celdas grandes y pequeñas (con estaciones base ubicadas por encima de los tejados de los edificios).
 - Microceldas (con estaciones base ubicadas por debajo de los edificios)



Caso: Celdas grandes y pequeñas

- Se toma en cuenta la anchura de la calle (w) y el ángulo de la calle con la dirección de propagación (ϕ).
- La atenuación total es: $L_b = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$
 - L_0 : Pérdidas en espacio libre
 - L_{rts} : Pérdidas por difracción y dispersión del tejado a la calle
 - L_{msd} : Pérdidas por difracción multipantalla



Caso: Celdas grandes y pequeñas

- Si se desconocen datos de los edificios y calles se recomienda usar los valores por defecto:
 - Altura edificios: $h_R = 3 * (\text{número de pisos})$
 - Separación entre edificios: $b = 20$ a 50m
 - Anchura calle: $w = b/2$
 - Orientación de la calle: $\phi = 90^\circ$
- Rango de validez del método COST 231:
 - Frecuencia (900Mhz a 1800Mhz)
 - Distancia d (10m a 3Km)



Método UMTS Forum

Métodos empíricos



Características

- Pérdidas para entornos urbanos y suburbanos:

$$L = 40(1 - 4 \cdot 10^3 \Delta h_b) \log R - 18 \log \Delta h_b + 21 \log f + 80 \text{ dB}$$

Donde: R en Km

f en Mhz

Δh_b es la altura de la estación base por encima de la altura media de los edificios (normalmente 15m).

Y

$$L = 128,1 + 37,6 \log R \quad \text{para cuando no hay línea de vista}$$

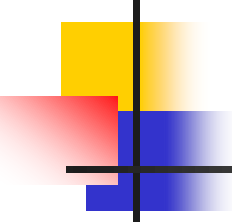


Método UIT-R 370

Métodos empíricos

Características

- Se basa en curvas medidas en climas templados terrestres, mares cálidos y mares fríos
- Destinado a servicios de radio-difusión sonora y de T.V.
- Cuando no se cumplen las condiciones de las curvas, se aplican ciertos factores de corrección a los valores leídos en éstas.
- El campo eléctrico es:
$$E = E_c + P - \Delta h - h_r + L + D$$
 - D: Corrección por ángulo de despejamiento del receptor
 - E_c : Valor del campo leído de las curvas
 - P: Potencia radiada aparente del Tx en dB/Kw
 - h_r : Corrección de altura de la antena receptora (se corrige de 10m a 3m)
 - L: Corrección por % de ubicaciones
 - Δh : Ondulación del terreno (en radio-difusión aprox. 50m)



Valores de h_r según bandas y tipos de terreno ($d < 50\text{Km}$)

Bandas	Terreno	Zonas	h_r
I,II	Llano/rugoso	Rurales/urbanas	9 dB
III	Llano	Rurales	7 dB
III	Rugoso	Urbanas	11 dB



Características de h_r

- Para $d > 100\text{km}$: h_r se disminuye a la mitad
- Para $50\text{km} < d < 100\text{Km}$: Se aplica interpolación lineal
- Para $k > 200\text{Km}$: Δh no afecta la corrección hecha

Cálculo de L (% de ubicaciones)

- Se supone una variación gaussiana de E con los emplazamientos
- Desviación típica:

Bandas	Desviación
I-III	8.3 dB
IV, V	$6 + 0,0398 (\Delta h * f)^{1/2}$ $- 2.1 * 10^{-5} (\Delta h * f)$

Cálculo de D

- D depende del ángulo de despejamiento del receptor (θ)

