

Resum Radiocom

Guillem Hernandez Sola

12 de enero de 2008

1. Propagación

1.1. Señal recibida en el terminal móvil depende de

1. Pérdidas de propagación debidas a la distancia entre antenas
2. Desvanecimientos debidos por obstáculos
3. Múltiples reflexiones de objetos cercanos
4. Desplazamiento de la frecuencia portadora de la señal debida al movimiento de la señal

1.2. Zona de cobertura determinada por:

- Ley de disminución de potencia
- Desvanecimientos lentos (pdf lognormal) (Shadow Fading)

1.3. Calidad del enlace (probabilidad de error)

Desvanecimientos rápidos (pdf Rayleigh Rice) (Entornos variables)

1.4. Tierra plana

- En espacio libre

$$P_r = P_t \times G_t \times G_r \times \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (1)$$

- Tierra plana

$$P_r = P_t \times G_t \times G_r \times \left(\frac{h_1 \times h_2}{d^2}\right)^2 \quad (2)$$

Distancia en células cocanal

$$D = R\sqrt{3K} \quad (3)$$

La atenuación en tierra plana es proporcional a d^4 y no depende de f .

NOTA: Al doblar la altura de la antena representa 6 dB de incremento en la potencia de señal recibida

$$L = \frac{C^2}{4\pi d f^2} \quad (4)$$

1.5. Relación de la atenuación con la distancia

- Urbano $\alpha = 5$
- Suburbano $\alpha = 4$
- Rural $\alpha = 3$
- Espacio libre $\alpha = 2$
- Mar mejor entorno de propagación

1.6. Modelo EGLI - Propagación que depende con la frecuencia

$$P_r = P_t \times G_t \times G_r \times \left(\frac{h_1 \times h_2}{d^2}\right)^2 \times \left(\frac{40}{f(\text{Mhz})}\right)^2 \quad (5)$$

1.7. Okumura-Hata

La expresión en dB.

$$L = 69,55 + 26,16\log(f) - 13,82\log(h_t) - a(h_m) + (44,9 - 6,55\log(h_t))\log(d) \quad (6)$$

dónde $a(h_m)$

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

$$8,29(\log 1,54h_m)^2 - 1,1 \text{ si } f \leq 400\text{Mhz} \quad (8)$$

$$3,2(\log 11,75h_m)^2 - 4,97 \text{ si } f \geq 400\text{Mhz} \quad (9)$$

Y los parámetros para Okumura-Hata van de la siguiente manera

$$150 \leq f \leq 2000\text{Mhz} \quad (10)$$

$$30 \leq h_b \leq 200\text{m} \quad (11)$$

$$1 \leq h_m \leq 10\text{m} \quad (12)$$

$$1 \leq d \leq 20\text{km} \quad (13)$$

1.8. Desvanecimientos lentos (Tienen orden de magnitud en segundos)

Cobertura: Conectar con una red a un nivel de calidad fijado. (Debido a la sensibilidad del Rx)

$$f(P_r) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(P_r - P)^2}{2\sigma^2}} \quad (14)$$

Zonas de sombra y probabilidad lognormal (Esta expresión toda escrita en dB)

1.9. Límites de zona de cobertura para asegurar que un % de ubicaciones se reciben correctamente (valores siempre expresados en dB)

$$P(P \geq P_u) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \text{erf}\left(\frac{P_u - P_m}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (15)$$

$$P(P \geq P_u) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{P_u - P_m}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (16)$$

$$\text{erf}(-x) = -\text{erf}(x) \quad (17)$$

$$\text{erf}(x) = -\text{erf}(-x) \quad (18)$$

NOTA: Los signos de la función erf(x) los carga el diablo.

1.10. Gestión de potencias

$$P_u(\text{dBm}) = P_n + \text{SNR} \quad (19)$$

Sistema limitado por interferencias $\gamma_0 \cong \text{SNR}$

$$P_u(\text{dBm}) = P_n + \gamma_0 \quad (20)$$

$$P_n(\text{dBm}) = KT_0FB = KT_0F(R_b/2)(QPSK) = KT_0F(R_b)(BPSK) \quad (21)$$

$$P_m = P_T + G_T + G_R + L \quad (22)$$

$$P_I(\text{dBm}) = P_m(\text{dBm}) - \text{CIR}(\text{dB}) \quad (23)$$

En tierra plana

$$P_m(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_T(\text{dBm}) + G_R(\text{dBm}) + 20\log(h_b h_m) - 40\log(d(\text{m})) \quad (24)$$

1.11. Desvanecimientos rápidos

Envolvente $r(t) \implies$ Estadística de Rayleigh

$$f_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} u(r) \quad (25)$$

Rápidos sin distorsión (Ecos próximos) tengo desvanecimiento pero no tengo distorsión **Rápidos con distorsión (Ecos lejanos)** asociada a la dinámica del móvil Un eco lejano se rompe en ecos próximos y la variaciones rápidas son debidas básicamente a los ecos próximos **Canal dispersivo:** módulo de su función de transferencia no es constante y su fase no es lineal. **Power delay profile:** potencia media de los diferentes caminos de propagación.

$$P(\Delta) = \frac{1}{1 + j2\pi D_s \Delta} \quad (26)$$

$$|P(\Delta)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi D_s \Delta)^2}} = 0,1 \quad (27)$$

Delay Spread: desviación típica del retardo del PDP **Ancho de banda de coherencia:** máximo ancho de banda de transmisión sin distorsión y sin desvanecimientos selectivos en frecuencia. Trato todas las frecuencias por igual. No distorsiono si trato todas las frecuencias por igual. Canal móvil lineal y variante con el tiempo

Propagación multicamino: retardos, amplitudes y fases diferentes

- Ecos lejanos canal dispersivo: ISI (Distorsión)
- Ecos próximos: canal no dispersivo: Desvanecimientos rápidos (No Distorsión)

Tiempo de coherencia: Tiempo necesario para que el canal móvil cambie sustancialmente

$$T_c \simeq \frac{1}{4,13 f_m} \quad (28)$$

$$f_m = \frac{v}{\lambda} \quad (29)$$

1.12. Concepto de entrelazado

Romper influencia de ráfagas de errores, y reordenar la información antes de enviarla

$$M_{filas} T_b \geq T_c \quad (30)$$

$$2M_{filas} N_{columnas} T_b \leq T_{retardo} \quad (31)$$

Con M_{filas} y $N_{columnas}$ y para la dimensión de la matriz $matriz = M_{filas} N_{columnas}$

2. Técnicas de ingeniería radio

2.1. Fiabilidad de un canal Rayleigh

- Desvanecimientos rápidos \implies Ráfagas errores que degradan la calidad del enlace
- Envlovente de señal recibida rayleigh \implies Relación señal a ruido con estadística exponencial

Canal Gaussiano

$$P_b(\gamma) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{\gamma}{2}}\right) \quad (32)$$

Canal Rayleigh

$$P_b(\gamma) = \frac{1}{2\gamma_0} \quad (33)$$

Se requiere una elevada relación señal-ruido para tener tasas de error pequeñas **BPSK** $B = R_b$

$$P_b(\gamma_0 \gg 1) = \frac{1}{4\gamma_0} \quad (34)$$

$$\gamma = \frac{E_b}{N_0} \quad (35)$$

QPSK $B = R_b/2$

$$P_b(\gamma_0 \gg 1) = \frac{1}{2\gamma_0} \quad (36)$$

$$\gamma = \frac{2E_b}{N_0} \quad (37)$$

MSK,GMSK

$$P_b(\gamma_0 \gg 1) = \frac{1}{2\gamma_0} \quad (38)$$

$$\gamma = \frac{2E_b}{N_0} \quad (39)$$

2.2. Técnicas de diversidad

Combinación por conmutación

- Una conmutación entre antenas cuando la señal está por debajo de un umbral
- Errores de detección (transitorios amplitud y fase)
- Incertidumbre al conmutar

Combinación por selección

- El número de receptores es igual al orden de la diversidad
- Se monitoriza continuamente la SNR de cada receptor
- Se elige la antena con mejor SNR
- Origina errores de detección

Combinación MRC

- Se suman de forma ponderada y en fase las señales recibidas
- Coeficiente de ponderación depende de la SNR en cada rama
- No hay transitorios

2.3. Probabilidad de error con diversidad (I)

Modifica la estadística del canal

Combinación por selección

$$Prob(\gamma_i \leq \gamma_s) = 1 - e^{-\frac{\gamma_s}{\gamma_0}} \quad (40)$$

$$P_M(\gamma_s) = (1 - e^{-\frac{\gamma_s}{\gamma_0}})^M \quad (41)$$

Para QPSK (M=2)

$$P_{bs}(\gamma_0) = \frac{3}{2\gamma_0^2} \quad (42)$$

$$\gamma_i = \frac{r_i^2}{2} \frac{1}{N} \quad (43)$$

Combinación MRC Para QPSK (M=2)

$$P_{bs}(\gamma_0) = \frac{3}{4\gamma_0^2} \quad (44)$$

Es una aproximación asintótica

Para QPSK (M=2)

$$P_{bs} < \frac{1}{\gamma_0^M} \quad (45)$$

3. Técnicas de acceso multiple

- **FDMA:** Sintonizo, cada usuario tiene todo el tiempo ocupado su radiocanal
- **TDMA:** Sincronizo, usuarios que comparten la misma frecuencia en breves instantes de tiempo que se repiten periodicamente cada usuario se le asigna un intervalo temporal (cuando me toca)
- **CDMA:** comportamiento en frecuencia y en tiempo. Me distingo mediante un codigo ortogonal.
- Modulación digital
- Expansión de espectro
- Estricta sincronización temporal y control de espectro
- Mejor gestión de interferencias cocanal y distorsión debida a la propagación

OFDMA = FDMA + TDMA

- Tengo unas subportadoras
- Subportadoras que cambian con el tiempo
- Subportadoras ortogonales entre sí
- Sincronismo en el enlace descendente (tiempo y frecuencia)

Ventajas OFDM

- Mejor y más robustos en la propagación multicamino y ráfagas de errores
- Pensadas para fuentes variables de datos
- Velocidades altas de tx

Inconvenientes OFDM

- Amplificadores lineales de potencia

3.1. Tecnicas de duplexado

- **FDD:** Enlace ascendente y el enlace descendente operan en bandas de frecuencia distintas
- **TDD:** Enlace ascendente y el enlace descendente operan en la misma banda de frecuencia utilizando un usuario en diferentes slots dentro de la misma trama para emitir y para recibir. Puede variar el número de slots en cada enlace

4. Sistemas celulares

4.1. Sistemas precélulares

- Gran zona de cobertura: potencias elevadas
- Reinicio de llamadas al cambiar de célula
- Limitado el numero de usuarios activos

$$\eta = \frac{N}{S} \frac{1}{B_t} = \frac{B_t}{B_r} \frac{1}{S} \left(\frac{\text{radiocanales}}{\text{HzKm}^2} \right) \quad (46)$$

Problemas Sistemas precélulares

- Tienen baja capacidad
- Elevada probabilidad de bloqueo
- Pobre eficiencia espectral

4.2. Sistemas celulares

- Sistemas basados en la reutilización de frecuencias en celdas lejanas para no interferirse
- Cobertura divide en células hexagonales (baja potencia)
- Agrupación de células en clusters celulares (grupos de células)

4.2.1. Reuso de frecuencias en sistemas celulares

- En un cluster se utilizan todos los radiocanales
- Usuarios de distintos clusters usan simultáneamente el mismo radiocanal para aumentar eficiencia
- Diseño para reducir la interferencia cocanal

Eficiencia celular

$$\eta = \frac{N}{S} \frac{1}{B_t} \frac{N_c}{B_t} = \eta \frac{N_c}{K} \left(\frac{\text{radiocanales}}{\text{HzKm}^2} \right) \quad (47)$$

K (factor de reuso), N_c (número de celdas que se utilizan para cubrir la zona de cobertura de area S) K $\uparrow\uparrow$ si D $\uparrow\uparrow$ distancia entre células de reuso.

4.3. Dimensiado celular

$$\text{canales/celda} = \frac{\text{total}}{k} = \frac{\text{canal}}{\text{celda}} \quad (48)$$

$$\text{recursos} = \left(\frac{\text{canal}}{\text{celda}} \frac{TS}{\text{celda}} \right) - 1_{\text{senal}} = \text{canales} \quad (49)$$

$$m = \frac{B_T/B_C}{k} \left(\frac{\text{canales}}{\text{célula}} \right) \quad (50)$$

Para usar las tablas de *Erlang_b*

$$P_b = \text{Erlang}_b(\rho_{\text{total}}, m_{\text{total}}) = E(2\text{porciento}, m = 4) \left(\frac{\text{Erlang}_b}{\text{cell}} \right) \quad (51)$$

Recordar que ρ_{total} se expresa en $\frac{\text{Erlang}_b}{\text{cell}}$

5. Handover (Traspaso de canal al cambiar de célula)

- Sin problemas para el usuario \implies incremento de señalización
- Consume tiempo

5.1. Cálculo de CIR (Sistemas limitados por interferencias)

$$\text{CIR} = \frac{P_u}{P_I} = \frac{\frac{\beta}{R^\alpha}}{\frac{\beta}{(D-R)^\alpha}} = \frac{\left(\frac{1}{R}\right)^\alpha}{\left(\frac{1}{D-R}\right)^\alpha} \quad (52)$$

$$\frac{C}{I} = \left(\frac{D}{R} - 1\right)^\alpha \quad (53)$$

6 posibles fuentes de interferencia

$$\text{CIR} = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} - 1\right)^\alpha \quad (54)$$

5.2. Relación entre CIR y K

$$\text{CIR} = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} - 1\right)^\alpha = \frac{1}{6} (\sqrt{3K} - 1)^\alpha \quad (55)$$

5.3. Sectorización

Cambio de sector \implies handover

- Para a tierra plana $\alpha = 4$
- Para okumura-hata tenemos que encontrar el α pero normalmente siempre es $\alpha = 3,18$

$$d^\alpha = 10 \log(d^\alpha) = 10 \alpha \log(d) \quad (56)$$

- Antenas omnidireccionales $n=6$
- Antenas sectoriales 120 $n=2$ Para tráfico alto
- Antenas sectoriales de 60 $n=1$

$$K = \frac{1}{3} \left(1 + (n \text{CIR}) \frac{1}{\alpha} \right)^2 \quad (57)$$

5.4. Eficiencia de un sistema celular

- tamaño de célula \Downarrow HO \Uparrow
- ancho de banda de radiocanal \Downarrow
- K \Downarrow sectorizar (HO \Uparrow) disminuir la CIR \Downarrow (modulaciones digitales)

$$\eta_c = \frac{1}{\pi R^2} \frac{1}{B_r} \frac{1}{K} \quad (58)$$

5.5. Tipos de células

- macro cell 0.5 - 100 km (300 Kb/s)
- micro cell 0,1 - 0.5 km (1 - 2 Mb/s)
- pico cell 0.01 - 0.1 km (+2 Mb/s)

5.6. Funciones de un sistema celular

Enganche, acceso, monitorización, traspaso, control de potencia, avance temporal y búsqueda.

5.6.1. Enganche

- Elección de BT (nivel de potencia)
- Difusión de información (Identidad del sistema, configuración del sistema)

5.6.2. Acceso

- Acceso a la BT (MT \implies BS)
- método acceso aleatorio (Recurso compartido)
- Confirmación de acceso (BS \implies MT)
- Colisión y reintento

5.6.3. Monitorización (GSM cada 480 ms)

Bs, Mt y sus parametros

- Potencia
- S/I
- Tasa de error
- Distancia
- Potencia de otras BS

5.6.4. Traspaso

- Motivación (La mala calidad, distribución de tráfico)
- Medidas (Medidas de MT, tasa de error, nivel de potencia recibido, nivel de potencia de BS colindantes) (Medidas BS, tasa error, nivel de potencia recibido, avance del tiempo (TA))
- Control (Decidido por la red, asistido por el móvil, controlado por el móvil)
- Tipo de handover (hard handover, soft handover, mesures, decisió, execució)

5.6.5. Control de potencia

- Objetivos (limitar la interferencia, ahorro de la batería)
- Criterios (nivel señal, relación S/I, problemas con la estabilidad)

5.6.6. Avance temporal

- Colisión $2T1$ y $2T2 + T$
- Solución $2T1$ antes y $2T2$ antes y el primero con una ráfaga más corta

5.6.7. Búsqueda

En una area de localización (attach, detach, update (location update))

5.7. Handover y movilidad

handover traspaso celular debido a la calidad del enlace

- RSSI (C+I)
- BER
- C/I
- Distancia
- Tráfico

5.7.1. Handover basado en RSSI

Minimizar el retraso en su ejecución y el número de ellos para evitar sobrecargas de señalización

$$Y_i(n) > Y_{i-1}(n) + H|BS = BS_{i-1} \quad (59)$$

Handover no deseado sobrecarga la señalización

5.7.2. Promediado del fading (desvanecimiento lognormal)

- fading rapido difícil de filtrar
- fading lento difícil de eliminar

5.7.3. Tiempo de tránsito en una célula

$$f_{tmc}(t) = \frac{u(t) - u(t-m)}{2\alpha T_m} + \frac{\alpha T_m}{2t^2} u(t - \alpha T_m) \quad (60)$$

Factor de movilidad

$$\alpha = \frac{2R}{v_{max} T_m} \quad (61)$$

T_m duracion media de una llamada (exponencial)

$$f_{td}(t) = \frac{1}{T_m} e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (62)$$

5.7.4. Probabilidad de handover

Sabiendo el factor de movilidad de los usuarios

$$t_{mc} = va[0, \frac{2R}{v}] \quad (63)$$

$$P_h = \int_0^{+\infty} P_r[t_d > t_{mc}] f_{t_{mc}}(t) dt \quad (64)$$

$$P_r[t_d > t_{mc}] = \int_{t_{mc}}^{+\infty} \frac{1}{T_m} e^{-\frac{t_d}{T_m}} dt_d = e^{-\frac{t_{mc}}{T_m}} \quad (65)$$

$$P_h = \frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha}) \quad (66)$$

Donde α es el factor de movilidad

$$\alpha = \frac{2R}{vT_m} \quad (67)$$

- P_h : Probabilidad de que una llamada en curso en una célula siga en una célula vecina

$$\bar{n}_h = \frac{(1 - P_{ba})P_h}{1 - (1 - P_{bh})P_h} \quad (68)$$

- P_{ba} : Probabilidad de bloqueo de llamada nueva
- P_{bh} : Probabilidad de bloqueo de llamada ya iniciada en otra célula que está haciendo handover

5.7.5. Modelo de flujo

Carga de canal en estático y en movimiento tendrían que ser iguales
Ecuación equilibrio

$$\lambda(1 - P_{ba})P_h + \lambda_h(1 - P_{bh})P_h = \lambda_h \quad (69)$$

$$\frac{\lambda_h}{\lambda} = \frac{a(1 - P_{ba})P_h}{(1 - P_{bh})P_h} \simeq \bar{n}_h \quad (70)$$

$$\lambda_a = \frac{N_{moviles}Q}{3600} \quad (71)$$

Ocupación de canal con movilidad y sin movilidad tienen que ser iguales.

$$\rho = (\lambda + \lambda_h)T_m(1 - P_h) \quad (72)$$

$$\rho = \lambda T_m \quad (73)$$

6. Dimensionado de un sistema celular FDMA/TDMA

Recursos radio disponibles con m y k enteros

- FDMA puro

$$m = \frac{B_t}{B_r K} \left(\frac{\text{canal}}{\text{célula}} \right) \quad (74)$$

$$m_s = \frac{B_t}{B_c K n} \left(\frac{\text{canal}}{\text{célula}} \right) \quad (75)$$

- FDMA/TDMA

$$m = \frac{B_t}{B_r K} \left(\frac{\text{slots}}{\text{portadora}} \right) \quad (76)$$

$$m_s = \frac{m_1 \left(\frac{\text{Erlangs}}{\text{sector}} \right)}{Q_u T_s \left(\frac{\text{Erlangs}}{\text{user}} \right)} \left(\frac{\text{user}}{\text{sector}} \right) \quad (77)$$

6.1. Tráfico ofrecido

Intensidad total tráfico célula

$$\rho = (\lambda + \lambda_h)T_m(1 - P_h) \quad (78)$$

El tráfico total ofrecido coincide con el caso del estático

$$\lambda = N_u \frac{Q}{3600} \quad (79)$$

$$\lambda_{total} = \frac{\lambda}{1 - P_h} \quad (80)$$

$$\rho_{total} = \lambda T_m = \frac{N_{moviles} T_m}{3600} (\text{Erlangs}) \quad (81)$$

6.2. Probabilidad de bloqueo (Erlang-B)

$$P_b = \text{Erlang}_b[\rho_t, \text{numdeTS}(\text{canales})]_{tablas} \implies \text{numdeTS}(\text{canales}) \quad (82)$$

Leo el valor de alguna tabla

$$\text{radiocanales/celda} = \lceil \frac{TS_{celda} + 1}{\text{radiocanales/celda}} \rceil = \frac{\text{radiocanales}}{\text{cell}} \quad (83)$$

$$\frac{\text{radiocanales}}{\text{cell}} K\left(\frac{\text{cell}}{\text{cluster}}\right) \quad (84)$$

En GSM hay 8 radiocanales

$$P_b = P_{ba} = P_{bh} = \frac{(\rho_{total})^m}{m! \sum_{n=0}^m \frac{(\rho_{total})^n}{n!}} \quad (85)$$

6.3. Priorización del handover

$$\rho = \rho_a + \rho_h (\text{Erlangs}) \quad (86)$$

Donde $N_u = N_{moviles}$ tenemos la expresión

$$\rho = \frac{1}{3600} N_{moviles} T_m \quad (87)$$

Para antenas omnidireccionales

$$\rho = \pi R^2 \frac{D_u \lambda_n T_m}{3600} \quad (88)$$

Para una sectorización de 120 grados

$$\rho = \frac{\pi R^2}{3} \frac{D_u \lambda_n T_m}{3600} \quad (89)$$

Handover usuarios

$$P_{bh} = \frac{(\rho_h)^{S_h}}{S_h! \sum_{n=0}^{S_h} \frac{(\rho_h)^n}{n!}} \quad (90)$$

Handover usuarios nuevos

$$P_{ba} = \frac{(\rho_a)^{S_a}}{S_a! \sum_{n=0}^{S_a} \frac{(\rho_a)^n}{n!}} \quad (91)$$

Ya que S_a son servidores de llamadas nuevas y S_h servidor de llamadas de handovers

$$\rho_h = \lambda_h E(T_h) = \lambda_h T_m \quad (92)$$

$$\rho_a = \lambda E(T_h) = \lambda T_m \quad (93)$$

6.4. Probabilidad de interrupción

Probabilidad que una llamada no se pueda finalizar debido a falta de canales

$$P_{drop} = \frac{P_h P_{bh}}{1 - (1 - P_{bh})P_h} \quad (94)$$

Como sacar la P_h si se tiene P_{drop}

$$P_h = \frac{P_{drop}}{P_{drop}(1 - P_{bh}) + P_{bh}} \quad (95)$$

Grado de servicio

$$Gos = P_b + 10P_{drop} \quad (96)$$

$$P_{drop} = \frac{P_h P_{bh}}{1 - (1 - P_{bh})P_h} \simeq \frac{P_h}{1 - P_h} P_{bh} \quad (97)$$

7. Sistema GSM

- BTS = tx - rx y PS (multiplex GSM, nivel móvil, control de potencia, TA y sincronización)
- BSC = Gestión BTS, canal móvil- red, contenido canales radiodifusión handover entre BTS bajo su control
- MSC = mobile system commiter, control de llamada
- GMSC = interface red fija con la red de moviles
- HLR = home locator register
- VLR = visitor locator register
- AUC = Centro autenticación
- EIR = Registro identificación equipos
- SMSC = Centro SMS

7.1. Bandas de frecuencia GSM

- Enlace ascendente (MT-BS) 890 - 915 Mhz
- Enlace descendente (BS-MT) 935 - 960 Mhz
- Sistema duplex espaciado entre canales 45 Mhz (FDD)
- Ancho de banda de radiocanal 200 kHz
- 125 radiocanales bidireccionales disponibles (FDMA)
- cada radiocanal 8 usuarios simultaneos (TDMA)
- canales de 0 a 124 mediante ARFCN
- Canal 0 banda de guarda entre GSM y otros sistemas

7.2. Clases de potencia

Para móvil (33 dBm, 2W) y para BS (43 dBm, 20W)

- Mínima potencia estación móvil 20 mW (13 dBm)
- Ajuste BS-MT en pasos de 2 dB
- Control de potencia para tener MT igual

7.3. Modulaciones

- Es una MSK con pre-distorsión de los simbolos para tener buenas propiedades espectrales.
- El edge usa una 8-PSK
- GMSK usa el GSM, y se asimila a una QPSK, como la MSK si no dicen lo contrario o lo especifican

7.4. Espectro de potencia en GSM

- Se extiende fuera de la banda asignada a un radiocanal
- Sistema limitado por interferencias
- Para BER=0.01 y no tener degradación de canales adyacentes (0.5 dB si $\Delta f=200$ kHz, 0.1 dB si $\Delta f=400$ kHz)

7.5. Estructura jerárquica de tramas

- Hipertrama (0 a 2047, 3 horas 28 min 53 seg 700 ms)
- 1 de 51 multitramas supertrama de 6.12 segundos
- 2046 de 26 multitramas supertrama de 6.12 segundos
- M26 de 120 ms, M51 de 235.38 ms
- 8 time slots de 4.1615 cada slot, 8 time slots de 4.1615 ms
- 1 slot de 577 μs , 1 slot de 577 μs

7.6. Generación de multitramas

- Slot 0 (Señalización) M51 i Slot 1-7 M26, pueden llevar 7 comunicaciones posibles S0 M51, y S1-S7 M26
- Velocidad enlace descendente a 13 kbs, cada 480 ms se monitorean las bases, y hay una cada 26 y tramas

7.7. Tipos de ráfagas

7.7.1. Ráfaga normal

- 3 bits inicio y cola, sirven para inicializar el igualador
- Stealing flag indica si la Ráfaga lleva info urgente de control en lugar de info de usuario
- Existen 8 secuencias de training diferentes
- La secuencia de training sirve para estimar la respuesta impulsional y para el seguimiento del TA

NOTA: La secuencia de training está en medio para reducir indeterminacion

7.7.2. Correlador ideal

- En origen, el valor de salida es igual a la longitud de la secuencia local
- Otros desplazamientos de valor con salida nula
- El pico de la secuencia de correlación marca referencias de tiempo
- Múltiples reflexiones hacen aparecer ecos en la señal a la salida del correlador
- Los circuitos igualadores eliminan ecos

7.7.3. Ráfaga de acceso (permite acceso del móvil a la red)

- Secuencia de sincronización más larga que una Ráfaga normal, para facilitar la sincronización del móvil
- Mayor número de bits de inicio y de cola, para facilitar el modo de operación del igualador
- Más tiempo de guarda para evitar colisiones con otras ráfagas
- Necesario para ubicar cada ráfaga en su slot

Info sobre el TA $\implies 60 + 8.25 \text{ bit} \implies 0.252 \text{ ms} \implies 37.8\text{km} \implies 35 \text{ km}$

- Células de hasta 35 km de radio, con un tiempo de propagación de 116.6 μs
- Tiempo de incertidumbre máximo en la recepción del burst de acceso

- $T_i=2T_p=233$ us equivale a 63 bits y menor que 68,25 bits
- Refresco el TA cada 480ms
- Distancia de Resolución $T_b \cdot c / 2 = 550$ m
- TA va de 0 a 63, si TA=0 a 550 m

7.8. Canales lógicos

7.8.1. Canales de tráfico \Rightarrow TCH

7.8.2. Canales de radiodifusión (BCH Broadcast Channels)

- BCCH (Broadcast control CH) (Ráfaga normal y M51 descendente) Ráfaga normal, identificar y acceder a la red
- FCCH (Frequency correction CH)(Ráfaga específica y M51 descendente) Info para MT de la frecuencia portadora de BS, Ráfaga de sincronización de frecuencia
- SCH (Synch CH)(Ráfaga específica y M51 descendente) Identifica BS sintonizada y sincroniza la estructura de trama Info de secuencia de entrenamiento se transmite por una ráfaga de sincronización

7.8.3. Canales de control dedicados (DCCH)

- SACCH (Slow associated control CH)(Ráfaga normal TCH M26 ascendente y descendente y SDCCH en M51 ascendente y descendente) Enlace descendente - Potencia a transmitir y TA Enlace ascendente - medidas MT para HO Mantiene la conexión establecida
- FACCH (Fast associated control CH)(Ráfaga normal) Reemplaza un canal de tráfico para enviar info urgente
- SDCCH (Stand-alone dedicated control CH)(Ráfaga normal) (M51 ascendente y descendente)(Baja capacidad) Cambio de mensajes entre MT-BS, antes de la comunicación y cuando BS-MT cuando no hay conexión

7.8.4. Canales de control comunes (CCCH)

- PCH (Paging CH) Avisa MT de llamada entrante de la BS
- AGCH (Access grant CH)(Ráfaga normal y M51 descendente) Concede o niega llamada solicitada por MT
- RACH (Random access channel)(Ráfaga de acceso y M51 ascendente) MT que realiza petición de llamada

7.9. Canales lógicos Ráfaga normal

BCCH,SACCH,FACCH,SDCCH,PCH,AGCH

7.10. Canales lógicos Ráfaga específica

FCCH,SCH

7.11. Canales lógicos Ráfaga acceso

RACH

7.12. Canales lógicos vinculados a la M51

- BCCH(descendente)
- FCCH(descendente)
- SCH(descendente)
- SDCCH(ascendente y descendente)
- PCH(descendente)
- A posible secuencia de M51 (BCCH,BCCH,FCCH,SCH,PCH,....)

7.13. Canales lógicos vinculados a la M26

- SACCH(ascendente y descendente)
- TCH(Full Duplex)
- FACCH(ascendente y descendente)
- El SACCH actualiza el valor del TA, cuando se lleva a cabo la comunicación
- El SACCH actualiza el valor del TA, cuando se lleva a cabo la comunicación
- El AGCH lleva el valor de TA a aplicar y el RACH sirve para calcular ese valor
- Posible secuencia: TCH,TCH,TCH,.....,SACCH(A la vez 13),TCH,TCH,.....,IDLE(Vez 26)

7.14. Slow frequency hopping SFH

- Cambia de frecuencia cada 4.615ms
- No tienen SFH los canales lógicos FCCH,SCH,BCCH,PCH,RACH, que se transmiten 3 dB por encima
- Se gana entre 2 y 3 dB
- Sólo se aplica a portadoras de time slots de tráfico

8. Radioenlaces

8.1. Refracción

- Índice de refracción: $n = c/v$ $n > 1$ (troposfera).
- Tierra ficticia: Modificar la curvatura de la Tierra para que la propagación sea en línea recta
- $|K| \geq 0,6$ y en una atmosfera estandar $K = \frac{4}{3}$

$$R = KR_0 = \left(\frac{dn}{dh} + \frac{1}{R_0}\right)^{-1} \quad (98)$$

8.2. Difracción

- Espacio libre: visibilidad directa (condiciones ideales)
- Radios de fresnel

$$r_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (99)$$

- Atenuación con difracción negligible si $h > 0,6r_1 \Rightarrow$ clearance 60 por ciento

8.3. Alturas de las antenas

- Ecuación de curvatura de la tierra

$$y \cong -\frac{x^2}{2R} \quad (100)$$

- Condición de diseño

$$h \geq 0,6r_1 + \Delta f + H_{obs} = 0,6\sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d}} + \frac{d_1 d_2}{2KR_0} + H_{obs} \quad (101)$$

NOTA:Cuidado donde está situado el obstaculo. Ultimo test, atención.

8.4. Cálculo del enlace

- Ecuación de transmisión

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dB) + G_R(dB) - \alpha_T(dB) - \alpha_R(dB) - 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (102)$$

- Ganancia antena

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_{ef} \quad (103)$$

- Parabólica

$$G = 5\left(\frac{D}{\lambda}\right)^2 \quad (104)$$

- Ruido

$$P_N = K(T_a + T_{eq})B = FKT_0B \quad (105)$$

$$P_{Rnom} - P_{Rmin} = P_T \frac{G_T G_R}{\alpha_T \alpha_R} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 - SNR_{min} FKT_0B \quad (106)$$

8.5. Interferencias

- Externas: Debidas a la discriminación angular

$$D_a(\psi) \quad (107)$$

- Internas: Debidas a la discriminación por polarización

$$D_p = D_{po} - \left[\frac{Af(dB)}{2}\right] \quad (108)$$

8.6. Relación señal interferencia

$$\left(\frac{S}{I}\right)_{externa} = \frac{P_T G_T G_R}{P_{TI} G_{TI} G_R} D_a(\psi) \left(\frac{d_I}{d}\right)^2 \left(\frac{1}{Af}\right) \cong \left(\frac{d_I}{d}\right)^2 \left(\frac{D_a(\psi)}{Af}\right) \quad (109)$$

$$\left(\frac{S}{I}\right)_{interna} = \frac{D_{po}}{\sqrt{Af}} \quad (110)$$

- MN máxima atenuación tolerable con interferencias (Margen Neto)
- MB máxima atenuación tolerable sin interf. (Margen Bruto)
- zona verde: S/NT disponible más grande que la necesaria ($P_b < P_b$ exigida).
- zona amarilla: S/NT disponible menor que la necesaria ($P_b > P_b$ exigida).
- **NOTA:** Si $\lambda_1 = \lambda_2$ trabajo a frecuencias distintas \implies MB=MN, no me interfiere nada.

Normalmente se calcula así

$$CIR = \frac{P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda_1}{4\pi d_1}\right)^2 \frac{1}{\Delta F}}{P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda_2}{4\pi d_2}\right)^2} = \frac{\left(\frac{\lambda_1}{4\pi d_1}\right)^2 \frac{1}{\Delta f}}{\left(\frac{\lambda_2}{4\pi d_2}\right)^2} \quad (111)$$

$$\Delta f = MN = \frac{\left(\frac{\lambda_1}{4\pi d_1}\right)^2}{CIR \left(\frac{\lambda_2}{4\pi d_2}\right)^2} \quad (112)$$

9. CDMA

- El CDMA es una forma de acceso múltiple más distribuida en relación al TDMA.
- Inmunidad y diversidad inherentes frente a las interferencias.
- Plan de reuso de frecuencias más sencillo y flexible. Soporta un reuso universal (cluster de tamaño 1)
- Mayor capacidad que TDMA y FDMA
- Mayor flexibilidad para acomodar servicios de naturaleza estadística distinta

9.1. Transmisor CDMA

- CDMA por saltos en frecuencia (FFH-CDMA, SFH-CDMA)
- CDMA por secuencia directa (DS-SS-CDMA)

9.1.1. Espectro CDMA

- Ganancia de procesamiento

$$G_p = \frac{T_b}{T_c} \quad (113)$$

$$G_p = 10 \log \frac{T_b}{T_c} (dB) \quad (114)$$

- La señal modulada en DS puede estar por debajo del nivel de ruido.
- La señal DS-SS se conforma con un filtro de Nyquist de bajo factor de roll-off, que aproximaremos por un filtro rectangular. En la práctica el espectro de la señal resultante de RF tiene una banda de $\frac{1}{T_c}$
- Sistema robusto a interferencias. Se puede compartir espectro con señales de banda estrecha
- DS permite habilitar el Acceso Múltiple: CDMA
- La CIR mejora en un factor igual a la ganancia de procesamiento

9.2. Control de Potencia

9.2.1. Presencia de Fading Lento

Los sistemas CDMA deben combatir el efecto **cerca-lejos** y el fading lento con un Control de Potencia Medio.

Nótese que las pérdidas de propagación (incluyendo el fading lento) varían con el movimiento

9.2.2. Presencia de Fading Rápido

Con n usuarios del mismo tipo transmitiendo al mismo tiempo en el enlace ascendente de una célula aislada con Control de Potencia Medio y despreciando el ruido térmico se tiene que:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{PT_b}{\frac{(n-1)p}{1/T_c}} = \frac{G_p}{n-1} \implies n \cong \frac{G_p}{\frac{E_b}{N_o}} \quad (115)$$

En presencia de desvanecimientos Rayleigh la E_b/N_o requerida es muy elevada para una determinada tasa de error y el número de usuarios muy reducido necesitamos Control de Potencia Instantáneo.

- La base cuando recibe una potencia distinta de la deseada vía F2 le comunica al móvil vía F1 que aumente o disminuya su potencia en Δ dB (≈ 0.5 dB).
- Se requieren actualizaciones regularmente de modo que en los intervalos de tiempo el canal no varíe apreciablemente.
- En el sistema Qualcomm se actualiza la potencia cada 1 ms, lo que requiere 1 Kb/s de señalización. Esta estrategia funciona para velocidades del orden de hasta unos 30-40Km/h. Disminuir el intervalo de actualización requiere más carga de señalización lo que puede ser ineficiente.
- Para variaciones muy rápidas el control instantáneo de potencia deja de funcionar correctamente, pero entonces empieza a funcionar muy satisfactoriamente la combinación entrelazado más codificación.

9.3. Codificación de canal

- La Codificación permite ganar G_c dB en la protección frente al ruido e interferencias.
- El efecto conjunto de la codificación y entrelazado compensa de modo satisfactorio el efecto negativo de la ausencia de un control de potencia efectivo para velocidades medio- elevadas.
- El entrelazado elimina las ráfagas de errores y los códigos correctores, que no consumen banda en CDMA, mejoran ostensiblemente los errores producidos por los desvanecimientos Rayleigh

9.4. Propagación multicamino

La propagación multicamino origina fading Rayleigh (Ecos de proximidad) y Distorsión de canal (Ecos lejanos)

- **Ecos de proximidad-Fading Rayleigh.** Se combate con el control instantáneo de potencia y codificación más entrelazado. En la práctica tal control solo es posible a velocidades lentas del móvil. La codificación más entrelazado actúa convenientemente a velocidades altas del móvil
- **Ecos Lejanos-Distorsión de canal.** En CDMA los ECOS lejanos no solo no originan problemas sino que se pueden combinar constructivamente mediante un receptor RAKE. Sea la señal recibida: $r(t)=s(t)c(t)+\rho s(t-\tau) c(t-\tau)$ Si $c(t)$ y $c(t-\tau)$ están incorreladas, se pueden separar las dos componentes correlando $r(t)$ con $c(t)$ y $c(t-\tau)$. Una vez separadas ambas señales se pueden combinar constructivamente. El receptor capaz de realizar esta operación se denomina RAKE.

9.5. Receptor Rake

- El receptor alinea las dos componentes con $c(t)$.
- Suma Constructiva de los dos Ecos

$$\sigma_n^2 = \frac{N_o}{T_b} [|\rho^2| + 1] \quad (116)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{[|\rho^2| + 1]^2}{2\sigma_n^2}} \quad (117)$$

$$\gamma_1 = \frac{|\rho^2| T_b}{2N_o} \quad (118)$$

$$\gamma_2 = \frac{T_b}{2N_o} \quad (119)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\gamma_1 + \gamma_2} \quad (120)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_1 + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_2 \quad (121)$$

- La realización práctica de un receptor RAKE puede ser compleja si el número de ramas es grande. En la práctica este número viene limitado por consideraciones de Hardware.
- El sistema QUALCOMM por ejemplo utiliza sólo tres ramas. En tal caso estas ramas son las correspondientes a un mayor nivel. Este sistema trabaja con una velocidad de chip de 1.228 Mc/s que para una longitud de la respuesta impulsional de entre 5 y 10 microsegundos, implica un valor de L alrededor de entre 6 y 12 aproximadamente.

9.6. Soft Handover

En CDMA tenemos soft handover, que se puede realizar gracias al receptor rake.

- **Antes** Las tres ramas estan conectadas a la Base vieja
- **Durante** Primero dos ramas a Base la vieja y una a la nueva y luego una a la vieja y dos a la nueva
- **Después** Las tres ramas están conectadas a la base nueva

9.7. Reuso completo de frecuencias

- Caso TDMA: cluster para evitar interferencia cocanal
- Caso CDMA: soporta reuso completo de frecuencias
- En CDMA no hay planificación frecuencial Interferencia intercélular, típicamente 60 por ciento de la intracélular

$$f = \frac{I_{inter}}{I_{intra}} \approx 0,6 \quad (122)$$

9.8. Gestión de potencias

La relación Eb/No del enlace ascendente se formula como

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = \frac{W}{R_j} \frac{P_j}{P_{tot} - P_j} \quad (123)$$

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}} P_{tot} \quad (124)$$

$$\eta_{ul} = 1 - \frac{P_n}{P_{tot}} \quad (125)$$

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}} \frac{P_n}{1 - \eta_{ul}} \quad (126)$$

Desde el punto de vista del transmisor:

$$P_{Tj} = L_j \frac{1}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}} \frac{P_n}{1 - \eta_{ul}} \quad (127)$$

9.9. Cálculo de $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ objetivo

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d = \frac{W}{I + P_n} \frac{P_T}{R_b L_p} \quad (128)$$

Y para la atenuación del movimiento

$$d(km) = d_0 + vt \quad (129)$$

9.10. Respiración celular

Para una potencia máxima disponible en el móvil P_{Tmax} y un servicio dado $\left(\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right)$ y R_j se tiene que la atenuación máxima tolerable es:

$$L_{max} = P_{Tmax} \left[1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}\right] \frac{1 - \eta_{ul}}{P_n} \quad (130)$$

Si $\eta_{ul} \uparrow \implies L_{max} \downarrow$ efecto que se conoce con el nombre de Respiración celular

9.11. Control de admisión

Control de admisión basado en la medida del factor de carga, un nuevo usuario no es admitido si:

$$\eta_{ul} + \Delta\eta_{ul} \geq \eta_{umbral} \quad (131)$$

Donde η_{ul} es el factor de carga antes de la admisión y $\Delta\eta_{ul}$ es el incremento de factor de carga que originaría un nuevo usuario y que se trata de estimar.

El factor de carga puede medirse físicamente:

$$\eta_{ul} = 1 - \frac{P_n}{P_{Tot}} \quad (132)$$

Alternativamente, el factor de carga puede estimarse estadísticamente:

$$\eta_{ul} = (1 + f) \sum_{j=1}^N v_j \left(1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}\right) \quad (133)$$

Cuando no hablan de relación potencia intercelular-intracelular

$$\eta_{ul} = (1 + f) \sum_{j=1}^N \left(\frac{\alpha_i}{1 + \frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j R_j}}\right) \quad (134)$$

9.12. Anexos CDMA

$$\Delta N = \frac{I_{total}}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta} \quad (135)$$

$$I_{total} = \frac{P_N}{1 - \eta} \quad (136)$$

$$\Delta I = \frac{I_{total}}{1 - \eta - \Delta L} \Delta L \quad (137)$$

$$\Delta I \approx \frac{I_{total}}{1 - \eta} \Delta L \quad (138)$$

$$\eta_{ul} = (1 + i) \sum_{j=1}^N v_j L_j = (1 + i) \sum_{j=1}^N v_j \frac{1}{1 + \frac{W}{R_j \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}} \quad (139)$$

$$\Delta L = v \frac{1}{1 + \frac{W}{R \left(\frac{E_b}{N_0}\right)}} \approx v \left(\frac{E_b}{N_0}\right) \frac{R}{W} \quad (140)$$

NOTA: W es el chip rate

9.12.1. 1 usuario con ruido blanco

Si G_p es grande n_d es una va gaussiana de media cero y varianza $N_0 T_b$

$$P_b = \frac{1}{2} \text{prob}(n_d < -T_b A) + \frac{1}{2} \text{prob}(n_d > T_b A) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{AT_b}{\sqrt{2}\sigma_n}\right) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (141)$$

9.12.2. M usuarios con ruido blanco

Si tenemos M usuarios habrá M-1 interferencias

$$P_b = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{N_0}{E_b} + \frac{(M-1)}{G_p}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (142)$$

9.12.3. M usuarios con ruido blanco con interferencia de banda estrecha

Si tenemos M usuarios habrá M-1 interferencias

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{N_0}{E_b} + \frac{(M-1)}{G_p} + \frac{I^2/A^2}{G_p} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (143)$$

9.13. Más formulas de problemas

$$SNR_{nom} = \gamma_0 + MN \quad (144)$$

$$(\gamma_0)^{-1} = \frac{MB}{SNR_{nom}} \quad (145)$$

$$SNR_{nom} = (\gamma_0)MB \quad (146)$$

$$SNR = \frac{SNR_{nom}}{MN} \quad (147)$$

Con una antena apuntando a 3 antenas (ejercicio 24 de la colección)

$$\frac{P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{A_f}}{kT_0 BF} > \gamma_0 \quad (148)$$

Para códigos de repetición si $n > m$

$$P_b = \binom{n}{n-m} P_s^2 (1 - P_s) + \binom{n}{m} P_s^3 \approx \binom{n}{n-m} P_s^2 = n P_s^2 \quad (149)$$

Con ganancia de codificación $G_c = 10^r$

$$CIR = \frac{P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{A_f}}{P_T \frac{G_T}{D_a} \frac{G_R}{D_a} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 + P_T \frac{G_T}{D_a} \frac{G_R}{D_a} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2} \quad (150)$$

$$\gamma_0^{-1} = CIR^{-1} + SNR^{-1} \quad (151)$$

$$SNR_{dB} = -10 \log \left(\frac{1}{\gamma_0} - \frac{2\Delta f}{D_a^2} \right) \quad (152)$$

Con una antena y otra interferente (problema 26)

$$CIR = \frac{P_U G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{A_f} \frac{1}{L_U}}{P_I G_T \frac{G_R}{D_a} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{L_I}} \quad (153)$$

$$SNR = \frac{SNR_{nom}}{\Delta f} = \frac{SNR_{nom}}{MN} \quad (154)$$

$$\gamma_0 = \frac{P_u}{P_n + P_I} \quad (155)$$

$$\eta = \frac{\frac{E_b}{N_0}}{\frac{W}{R}} NV \quad (156)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_R T_b}{N P_R V} \implies \frac{E_b}{N_0} = \frac{G_p}{V N} \implies N = \frac{G_p}{V \frac{E_b}{N_0}} \quad (157)$$

$$T_s = T_b r \quad (158)$$

$$E_s = E_b r \quad (159)$$

$$M_c = \frac{\frac{T_b}{T_c}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_c} = \frac{G_p}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_c} \quad (160)$$

Si trato con CDMA y 2 antenas

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{\frac{P_u T_b}{L_{11}}}{N_0 + \frac{P_I T_c}{L_{21}}} \quad (161)$$

$$I_{total_{antena}} + \Delta I \geq I_{max} \quad (162)$$

$$P_T(dBm) = L_p(dB) + 10\log(R_b) + 10\log\left(\frac{E_b}{N_0}\right) + \Delta N + N_T(dBm/Hz) \quad (163)$$

$$\Delta N = -10\log(1 - \eta_{ul}) = \frac{1}{1 - \eta_{ul}} \quad (164)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{\frac{P_T}{L_P} T_b}{N_0} \quad (165)$$

$$N_0 = \frac{(M_c - 1)s}{\frac{1}{T_c}} \cong \frac{M_c s}{\frac{1}{T_c}} = M_c s T_c = M_c \frac{E_s}{T_s} T_c = M_c \frac{E_b r}{T_b r} T_c \quad (166)$$

Factor de carga en general para N usuarios

$$\eta = \frac{P_{intra} + P_{inter}}{P_{intra} + P_{inter} + P_N} \quad (167)$$

Factor de carga en general para 1 usuario

$$\eta = \frac{P_{inter}}{P_{inter} + P_N} \quad (168)$$

Potencia transmitida en CDMA

$$P_T = \left(\frac{E_b}{N_0}\right) L_p(d) \frac{P_N}{W/R_b} \quad (169)$$

9.14. Recordatorio dBm

- 1 W = 30 dBm = 0 dB
- 30 dBm = 0 dB