

REDES INALÁMBRICAS Y MÓVILES

RELACIÓN DE EJERCICIOS - TEMA 2

① Microcelda urbana $\left\langle \begin{array}{l} h_t = 10m \\ h_r = 3m \end{array} \right.$ ¿distancia crítica modelo 2 rayos?
 $f_c = 2.6 GHz$

A partir de la distancia crítica de las interferencias son siempre destructivas lo que explica el rápido crecimiento con d^4 . Luego $\Delta\phi = \pi$

$$\text{Si } \Delta\phi = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \Rightarrow d \Delta\phi = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda} \Rightarrow d \propto \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda}$$

$$\Rightarrow d_c = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda} \quad \text{donde } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 0.15 \text{ m}$$

Luego:

$$d_c = \frac{4 \cdot 10m \cdot 3m}{0.15m} = 800m$$

Microcelda en interior $\left\langle \begin{array}{l} h_t = 3m \\ h_r = 2m \end{array} \right.$ $\lambda = \frac{c}{f} = 0.15m$

$$d_c = \frac{4 \cdot 3m \cdot 2m}{0.15m} = 160m$$

② Red WLAN interior con $f_c = 900 MHz$, $R = 100m$ y antenas no direccionalas.

Modelo de pérdidas de propagación en espacio libre

¿Potencia requerida en punto de acceso para $P_{min} = 10 \mu W$? $P_r = 10 \mu W = 10 \cdot 10^{-6} W$

si las antenas no son direccionalas $\Rightarrow G_L = 1$ $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{900 \text{ MHz}} = \frac{1}{3} \text{ m}$

La potencia requerida en el punto de acceso será la potencia transmitida y la potencia mínima recibida será la potencia recibida. Como estamos en un modelo de pérdidas de propagación en espacio libre (Free-Space Path Loss), sabemos que:

$$\frac{P_r}{P_t} = \left[\frac{\lambda \sqrt{G_t}}{4\pi d} \right]^2 = \left[\frac{P_r}{\left[\frac{\lambda \sqrt{G_t}}{4\pi d} \right]^2} \right] = \frac{10 \cdot 10^{-6} W}{\left[\frac{1}{3} \sqrt{1} \right]^2} = 142112 W = 21.52 dBW$$

$$P_t dBm = P_r dBm + 10 \lg_{10}(G_t) - 20 \lg_{10}(\lambda) + 20 \lg_{10}(4\pi) - 20 \lg_{10}(d) = 51.52 dBm$$

¿dónde combinaría con $f = 5 \text{ GHz}$? $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5 \text{ GHz}} = 60 \text{ cm}$

Luego:

$$P_t = \frac{P_r}{\left[\frac{\lambda \sqrt{G_t}}{4\pi d} \right]^2} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ W}}{\left[\frac{0.6 \cdot 1}{4\pi \cdot 1000 \text{ m}} \right]^2} = 4.38 \cdot 10^{-9} \text{ W} = 36.42 \text{ dBW}$$

Comprobaremos que la potencia de transmisión tendría que aumentar 30 veces su valor.

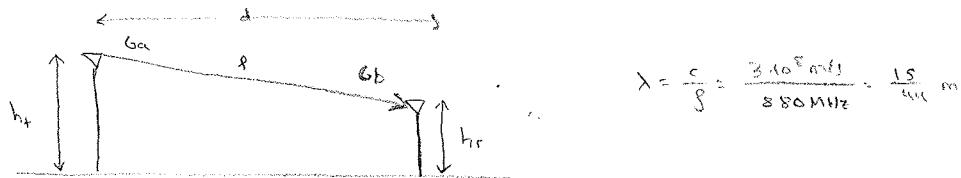
Luego en mayor frecuencia del sistema, mayor potencia de transmisión

③ $h_t = 30 \text{ m}$, $h_r = 1.5 \text{ m}$ y $f = 880 \text{ MHz}$

Atenuación señal con modelo dos rayos en $d = 1500 \text{ m}$?

$G_{tB} = 8 \text{ dB}$, $G_{rB} = 0 \text{ dB}$ Atenuaciones en Espacio Libre y en la superf. refleja?

Para un modelo de dos rayos, las atenuaciones en el espacio libre serían:



Luego la atenuación sería de: $P_L = \frac{P_r}{P_t} = \left[\frac{\lambda \sqrt{G_t}}{4\pi d} \right]^2$ donde $G_t = G_{tB} \cdot G_{rB} \Rightarrow$

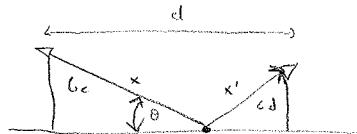
$$\Rightarrow G_t = 10^{\frac{8 \text{ dB}}{10}} \cdot 10^{\frac{0 \text{ dB}}{10}} = 6.3095$$

$$\Rightarrow P_L = \left[\frac{0.341 \sqrt{6.3095}}{4\pi \cdot 1500 \text{ m}} \right]^2 = 2.082 \cdot 10^{-9} \rightarrow \text{En decibelios} \Rightarrow P_L \text{ dB} = -86.88 \text{ dB} \quad \checkmark$$

Lo comprobamos: $G_t \text{ dB} = 8 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = 8 \text{ dB}$

$$P_L \text{ dB} = -10 \log_{10} \frac{\lambda^2 G_t}{(4\pi d)^2} \approx -85.92 \text{ dB} \quad \checkmark$$

En la superficie de reflexión:



Como $d \gg h_t, h_r$

entonces

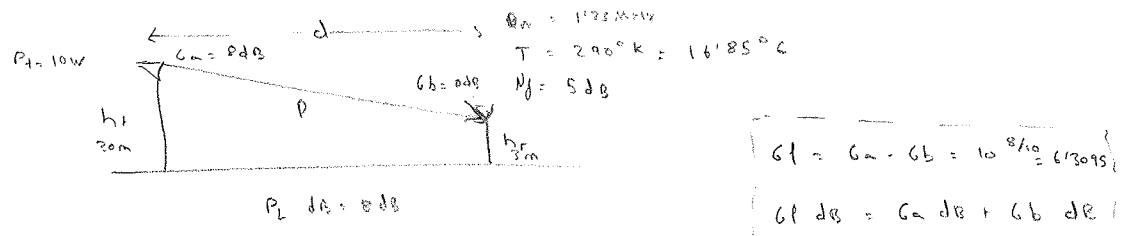
$\theta \approx \alpha$	$\Delta \theta \approx \frac{h_t + h_r}{d}$
$G_t \approx G_r$	$\Delta G \approx \frac{h_t + h_r}{d}$
$\theta \approx 0$	
$x + x' \approx d$	

Luego:

$$\frac{P_r}{P_t} \approx \left[\frac{\sqrt{G_t} h_r}{d^2} \right]^2 = \left[\frac{\sqrt{6.3095} \cdot 30 \cdot 1.5}{1500^2} \right]^2 = 2.52 \cdot 10^{-9} \Rightarrow P_L \text{ dB} = -85.97 \text{ dB}$$

- Q. Es un móvil en espacio libre. $d = 8000 \text{ m}$, $f_t = 115.6 \text{ MHz}$, $P_t = 10 \text{ W}$, pérdidas totales en el sistema 8 dB , $N_f = 5 \text{ dB}$, $T_{\text{receptor}} = 290^\circ \text{ K}$, $B_w = 1125 \text{ MHz}$, $G_E = 8 \text{ dBi}$, $G_M = 6 \text{ dBi}$, $h_t = 3 \text{ m}$ y $h_r = 3 \text{ m}$

d) Potencia de señal recibida en EM y su SNR de la señal recibida?



Hemos supuesto un modelo de dos rayos:

Como nos piden la potencia de la señal recibida y $d \gg h_t, h_r$:

$$P_r \approx \left[\frac{\sqrt{G_f} \cdot h_t \cdot h_r}{d^2} \right]^2 \cdot P_t = \left[\frac{\sqrt{613095} \cdot 3 \text{ m} \cdot 3 \text{ m}}{8000^2} \right]^2 \cdot 10 \text{ W} = [1124 \cdot 10^{-10} \text{ W}] = P_r$$

$$P_r (\text{dB}) = +10 \lg_{10}(1124 \cdot 10^{-10}) = -99.03 \text{ dB}$$

Para calcular el SNR de la señal recibida calcularemos el ruido receptor.

La densidad del ruido es: $N_0 = k_B T = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{julios}}{\text{Hz}} \cdot 290^\circ \text{ K} = 4.002 \cdot 10^{-21} \frac{\text{julios}}{\text{Hz}}$

$$N_0 = -203.97 \text{ dB/Hz}$$

$$B_w = 1125 \text{ MHz} = 60196 \text{ dB/Hz}$$

$$N_f = 5 \text{ dB}$$

Por tanto, el ruido térmico en el receptor es:

$$N_0 + B_w (\text{dB}) = -203.97 \text{ dB/Hz} + 60196 \text{ dB/Hz} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_T (\text{dB}) = -143.01 \text{ dB}$$

Si sabemos que $P_r = R_T (\text{dB}) + N_f (\text{dB}) = -143.01 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = -138.01 \text{ dB}$

Luego: $\text{SNR} (\text{dB}) = P_r (\text{dB}) - R_T (\text{dB}) = -99.03 \text{ dB} - (-138.01 \text{ dB}) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \text{SNR} (\text{dB}) = 38.98 \text{ dB}$$

⑤ Interior de $f = 900\text{MHz}$

Encontrar γ que minimice el error cuadrático medio (Modelo Simplificado)

$d_0 = 1\text{m}$ K determinada para d_0

Encontrar P_r a $d = 150\text{m}$ en el modelo simplificado para $P_t = 1\text{mw}$

Hallamos en primer lugar el valor de K:

$$K = 20 \log_{10} \frac{\lambda}{4\pi d_0} = 20 \log_{10} \left(\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{900 \cdot 10^6 \text{ Hz}} \right) = -31.52 \text{ dB}$$

Sabemos que: $P_r = P_t K \left[\frac{d_0}{d} \right]^\gamma$ y $P_r dB = P_t dB + K dB + 10 \log_{10} \left[\frac{d_0}{d} \right]$

$$\text{Luego: } \gamma = \frac{P_r dB - P_t dB - K dB}{10 \log_{10} \left[\frac{d_0}{d} \right]}$$

Nos piden que encontramos γ que minimice el NMSE entre el modelo simplificado y las medidas realizadas

$$\text{NMSE} = F(\gamma) = \sum_{i=1}^{5 \text{ datos}} \| L_{\text{medido}}(d_i) - L_{\text{simplif.}}(d_i) \|^2$$

Por tanto hallamos L para cada caso del modelo simplificado:

$$L_1 = K + 10 \log_{10} \left(\frac{1\text{m}}{10\text{m}} \right) = -31.52 - 10 \gamma$$

$$L_2 = -31.52 - 13.01 \gamma$$

$$L_3 = -31.52 - 16.98 \gamma$$

$$L_4 = -31.52 - 20 \gamma$$

$$L_5 = -31.52 - 24.77 \gamma$$

$$\text{NMSE} = \| -70 - (-31.52 - 10 \gamma) \|^2 + \| -75 - (-31.52 - 13.01 \gamma) \|^2 + \| -90 - (-31.52 - 16.98 \gamma) \|^2 +$$

$$+ \| -110 - (-31.52 - 20 \gamma) \|^2 + \| -125 - (-31.52 - 24.77 \gamma) \|^2 =$$

$$= \| -38.48 + 10 \gamma \|^2 + \| -43.88 + 13.01 \gamma \|^2 + \| -58.48 + 16.98 \gamma \|^2 + \| -78.48 + 20 \gamma \|^2$$

$$+ \| -93.48 + 24.77 \gamma \|^2 = 3142.94 \gamma - 11654.9 = 0$$

$$\text{MMSE} = 2467.63 - 11654.9 \gamma + 157.147 \gamma^2 \Rightarrow \frac{\partial F(\gamma)}{\partial \gamma} = 0 \Rightarrow \boxed{\gamma = 3.71}$$

$$P_r = P_t + K + 10 \log_{10} \left(\frac{d_0}{d} \right) = 10 \log_{10} (1\text{mw}) + (-31.52) + 10 \cdot 3.71 \cdot \log_{10} \left(\frac{1\text{m}}{150\text{m}} \right) = \boxed{-142.25 \text{ dBmW} = -112.25 \text{ dBm}}$$

$$⑥ \quad \bar{x} = 3171 \quad y \quad K = -3154 \text{ dB}$$

Encontrar varianza del shadowing log-normal, $\sigma_{\phi}^2 \text{ dB}^2$

Sabemos que la varianza es: $\sigma_{\phi}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S (x_i - \mu)^2$

donde μ en ensombrecimiento del shadowing es $\mu = 0$, luego $\sum_{i=1}^S x_i^2 = F(S)$

Por tanto:

$$\sigma_{\phi}^2 = \frac{1}{S} F(S) = \frac{66149 \text{ dB}}{S} = 13129 \text{ dB}$$

La desviación típica sería:

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{13129 \text{ dB}} = 3164 \text{ dB}$$

$$⑦ \quad \text{Encontrar la probabilidad de corte.}$$

$d = 150m$. Combinación perdidas de propagación y shadowing

$$P_t = 10 \text{ mW}, P_{min} = -11015 \text{ dBm}$$

Sabemos que: $P_{outage} = 1 - Q \left(\frac{P_{min} - (P_t + K \text{ dB} - 10 \cdot \lg_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right))}{\sigma_{\phi} \text{ dB}} \right)$

Sustituimos:

$$P_{outage} = 1 - Q \left(\frac{-11015 \text{ dBm} - \left(\overbrace{10 \lg_{10}(10 \text{ mW}) + (-3154 \text{ dB})}^{d \text{ dBm}} - 10 \cdot 3171 \lg_{10}(150 \text{ m}) \right)}{3164 \text{ dB}} \right) = >$$

$$P_{outage} = 1 - Q \left(-\frac{8122 \text{ dBm}}{3164 \text{ dB}} \right) = 1 - Q(-2.56) = 1 - 0.9880$$

Luego $P_{outage} = 0.012 = 1.2\%$

8) Área cobertura para celdas ejercicios 5 y 6.

$$R = 600m \quad P_t = 100mW = 20 dBm \quad y \quad P_{min} = -110 dBm \quad / \quad P_{max} = -120 dBm$$

Para calcular el área de cobertura de una celda sabemos que:

$$C = Q(a) + e^{\left[\frac{2 - 2ab}{b^2} \right]} Q\left(\frac{2 - ab}{b} \right)$$

$$\text{donde } a = \frac{P_{min} - P_r(R)}{\sigma_\psi dB}, \quad b = \frac{10 \times \log_{10}(e)}{\sigma_\psi dB}$$

$$\text{y } P_r(R) = P_t + K dB - 10 \times \log_{10}\left(\frac{R}{d_0}\right)$$

$$\star P_{min} = -110 dBm$$

$$\text{Calculamos la potencia media: } P_r(R) = 20 dBm + (-31.54 dB) - 10 \cdot 3.171 \log_{10}\left(\frac{600m}{3m}\right);$$

$$\boxed{P_r(R) = -114.60 dBm = -114.16 dBW}$$

$$\boxed{a = \frac{-110 dBm - (-114.16 dBm)}{31.64 dB} = 1.1263}$$

$$\boxed{b = \frac{10 + 3.171 - \log_{10}(e)}{31.64 dB} = 4.142}$$

$$\text{Luego } C = Q(1.1263) + e^{\left(\frac{2 - 2 \cdot 1.1263 \cdot 4.142}{4.142^2} \right)} Q\left(\frac{2 - 1.1263 \cdot 4.142}{4.142} \right);$$

$$C = Q(1.1263) + 0.625 \cdot Q(-0.82) = 0.4932 + 0.625 \cdot 0.799 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{C = 0.5969 = 59.69\%}$$

$$\star P_{min} = -120 dBm$$

$$P_r(R) = -114.6 dBm$$

$$\boxed{a = \frac{-120 dBm - (-114.6 dBm)}{31.64 dB} = -1.148}$$

$$b = 4.142$$

$$C = Q(-1.148) + 2.16 \cdot Q(1.193)$$

$$= 0.19305 + 0.6268 \cdot 2.16 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{C = 0.19883 = 19.883\%}$$

$$④ d = 3 \text{ km}$$

$$\gamma = 4$$

$$P_t = 4 \text{ W} = 4000 \text{ mW} = 36.02 \text{ dBm}$$

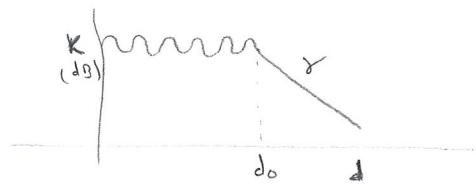
$$f = 1800 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1800 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = \frac{1}{6} \text{ m}$$

Shadowing $\Psi \text{ dB} = 10.5 \text{ dB}$ (Atenuación) \rightarrow Varianza

$$\text{Potencia a } d_0 = 100 \text{ m} \Rightarrow P_{d_0} = -32 \text{ dBm}$$

¿ Potencia recibida en d ?

Si la potencia recibida en d_0 es -32 dBm , tomamos esa como referencia:



Luego la potencia recibida en d será:

$$P_r \text{ dBm} = P_{d_0} - 10 \gamma \lg_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) - \Psi = -32 \text{ dBm} - 10 \cdot 4 \lg \left(\frac{3000}{100} \right) - 10.5 \text{ dB} \Rightarrow$$

$$\boxed{P_r \text{ dBm} = -101.58 \text{ dBm}}$$

¿ Cuáles son los períodos de propagación admisibles ?

Calcularemos el Path Loss admisible.

$$\boxed{P_L = P_t - P_r = 36.02 \text{ dBm} - (-101.58 \text{ dBm}) = +137.604 \text{ dB}}$$

⑩ Path Loss = 150 dB

$$P_L \text{ dB} = 133'2 + 43 \lg d \rightarrow d \text{ d. separación?}$$

$$\Psi \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

Sabemos que el Path Loss es: $P_L \text{ dB} = K \text{ (dB)} + 10 \lg \left(\frac{d}{d_0} \right)$

A esta formula, como el P_L es una attenuación, le sumamos el shadowing ya que se considera también como attenuación, luego:

$$P_L \text{ dB} = 133'2 + 43 \lg d + \Psi \text{ dB} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 150 \text{ dB} = 133'2 + 43 \lg d + 10 \text{ dB} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = 10 \frac{150 \text{ dB} - 133'2 \text{ dB} - 10 \text{ dB}}{43} \Rightarrow$$

$$\boxed{d = 1143 \text{ km}}$$

⑪ $P_{\min} = \overline{P_r(R)}$

d área de cobertura para $\begin{cases} \delta = 2,4,6 \\ \sigma_{\Psi \text{ dB}} = 4,8,12 \end{cases}$? Explicación cambio.

Sabemos que si la P_{\min} coincide con la potencia media, entonces:

$$\alpha = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{2} + \exp \left[\frac{-z}{b^2} \right] Q \left(\frac{z}{b} \right)$$

donde: $b = \frac{10 \cdot \delta \log_{10}(e)}{\sigma_{\Psi \text{ dB}}}$

• $\delta = 2, \sigma_{\Psi \text{ dB}} = 4 :$

$$b = \frac{10 \cdot 2 \log_{10}(e)}{4} = 21171 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{-2/(21171)^2} Q \left(\frac{2}{21171} \right) =$$

$$= 0.15 + e^{-2/(21171)^2} \cdot 0.12784 = 0.177 \rightarrow \boxed{77\%}$$

• $\delta = 2, \sigma_{\Psi \text{ dB}} = 8 :$

$$b = 11085 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{-2/(11085)^2} Q \left(11085 \right) = \frac{1}{2} + e^{-2/(11085)^2} \cdot 0.10327$$

$$C = 0.1711 \rightarrow \boxed{71.1\%}$$

$\gamma = 2$, $\sigma_{\psi dB} = 12$:

$$b = 0.723 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{2/(0.723)^2} \cdot Q(2.763) = \frac{1}{2} + 0.518 \cdot 0.100286 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0.63 \rightarrow 63\%$$

$\gamma = 4$, $\sigma_{\psi dB} = 4$:

$$b = 4.34 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{2/(4.34)^2} \cdot Q(0.4605) = \frac{1}{2} + 1.221 \cdot 0.3225 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0.858 \rightarrow 85.8\%$$

$\gamma = 4$, $\sigma_{\psi dB} = 8$:

$$b = 2.171 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{2/(2.171)^2} \cdot Q(0.921) = \frac{1}{2} + 1.528 \cdot 0.1785 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0.772 \rightarrow 77.2\%$$

$\gamma = 4$, $\sigma_{\psi dB} = 12$:

$$b = 2.1447 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{2/(2.1447)^2} \cdot Q(2.382) = \frac{1}{2} + 2.596 \cdot 0.0836 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0.712 \rightarrow 71.2\%$$

$\gamma = 6$, $\sigma_{\psi dB} = 4$:

$$b = 6.154 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{2/(6.154)^2} \cdot Q(0.307) = \frac{1}{2} + 1.048 \cdot 0.329 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0.897 \rightarrow 89.7\%$$

$\gamma = 6$, $\sigma_{\psi dB} = 8$:

$$b = 3.1257 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{2/(3.1257)^2} \cdot Q(0.614) = \frac{1}{2} + 1.207 \cdot 0.269 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0.824 \rightarrow 82.4\%$$

$\gamma = 6$, $\sigma_{\psi dB} = 12$:

$$b = 2.172 \Rightarrow C = \frac{1}{2} + e^{2/(2.172)^2} \cdot Q(0.921) = \frac{1}{2} + 1.528 \cdot 0.1785 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0.772 \rightarrow 77.2\%$$

[Explanation]

⑩ Cálculo de enlace.

$$f_c = 900 \text{ MHz}$$

$$G_t = 8 \text{ dB}$$

$$B_w = 3 \text{ dB} \text{ de } 25 \text{ kHz}$$

Punto ruptura = 10 m

$$B = 25 \text{ kHz}$$

$$G_r = -2 \text{ dB}$$

$$SNR = 18 \text{ dB}$$

$$\delta_{10 \text{ m}} = 3 \text{ dB}$$

$$T_e = 300^\circ \text{K}$$

$$N_r = 7 \text{ dB}$$

$$\text{Rango cobertura} = 2 \text{ km}$$

Margen desvanecimiento = 10 dB

¿Punto transmisión?

Suponemos un sistema de transmisión en espacio libre:



$$B_w = 25 \text{ kHz} = 43197 \text{ dB Hz}$$

En primer lugar calculamos la potencia del ruido en el receptor:

- Densidad ruido $\Rightarrow N_0 = K_B \cdot T \frac{dB}{Hz} = 1.28 \cdot 10^{-23} \frac{\text{julios}}{\text{Hz}^2} \cdot 300^\circ \text{K} = 4114 \cdot 10^{-21} \text{ julios}$

$$(N_0 = 203.82 \frac{\text{dB}}{\text{Hz}})$$
- $R_T = N_0 + P_w (\text{dB}) = -203.82 \frac{\text{dB}}{\text{Hz}} + 43197 \text{ dB Hz} = -159.84 \text{ dB}$

REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

RELACIÓN DE EJERCICIOS - TEMA 2

(2) Media inalámbrico libre en to. Tres estaciones → Dos frames

Capa Física IEEE 802.11b

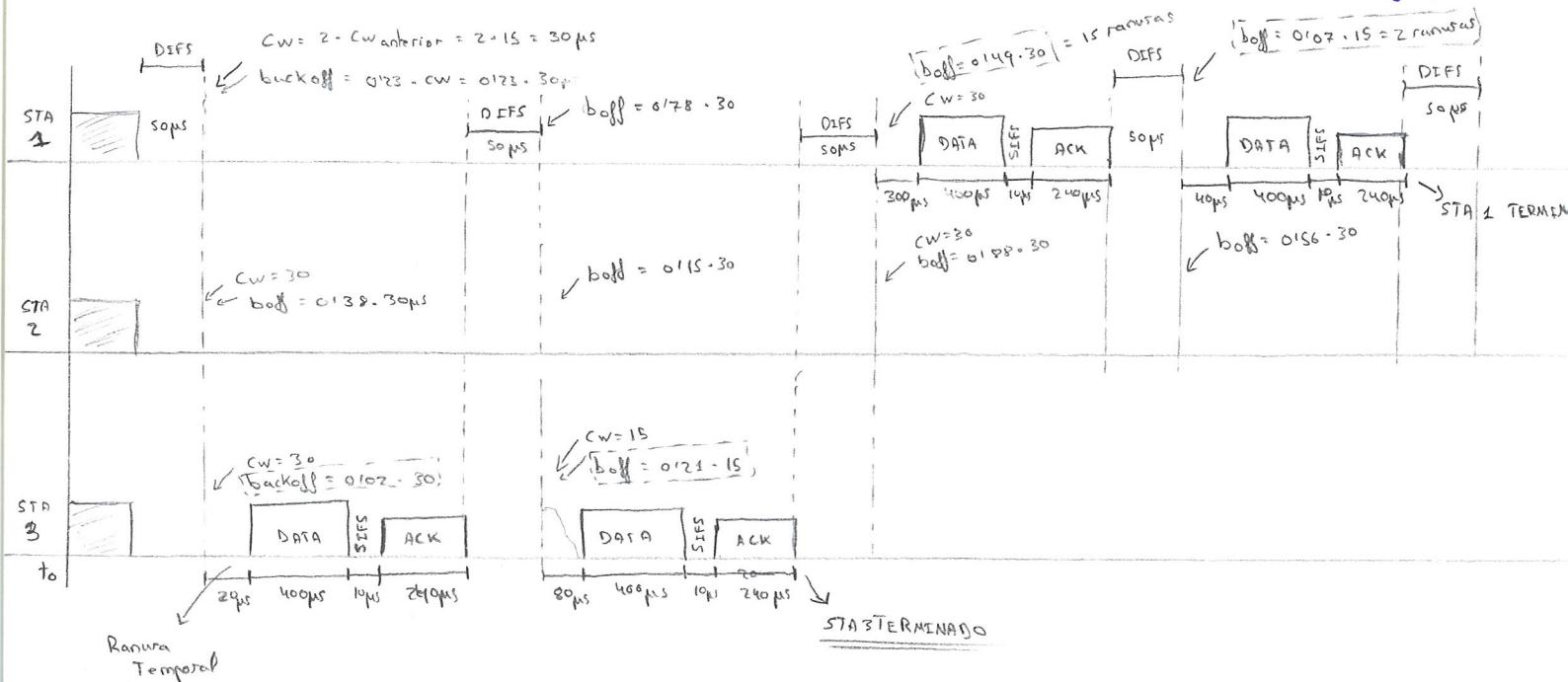
$$\left\{ \begin{array}{l} SIFS = 10\mu s \\ PIFS = 30\mu s \\ DIFS = 50\mu s \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} CW_{min} = 15 \\ CW_{max} = 1023 \end{array} \right.$$

Estación 1: 0123, 0178, 0149, 0107, 0199

" 2: 0158, 0115, 0188, 0156, 0144

" 3: 002, 0121, 0178, 0193, 0115

Representación temporal. $T_{DATA} = 400\mu s$; $T_{ACK} = 240\mu s$; Nitradas RTS/CTS ni fragmentación.



En primer lugar se produce una colisión al querer enviar las tres estaciones a la vez.

Ranura temporal: $PIFS - SIFS = 30\mu s - 10\mu s = 20\mu s$

$DIFS - PIFS = 50\mu s - 30\mu s = 20\mu s$

Como el backoff de la estación 3 es menor, comienza a transmitir → $b_{off} = 0121 - 15 = 315 \rightarrow 4$ ranuras.

A la hora de ver quien manda el siguiente paquete, como STA 2 ya ha enviado 1, el $CW_{min} = 15$.

Habría que hacer el envío de la estación 2 y ya estaría terminado.

② IEEE 802.11b

5 estaciones activas con RTS/CTS

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{slot time} = 20 \mu s \\ \text{SIFS} = 10 \mu s \\ \text{CW}_{\min} = 3 \\ \text{CW}_{\max} = 1023 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{paquetes datos} = 1500 \text{ bytes} \\ \text{PHY} = 128 \text{ bits} ; \text{RTS} = 288 \text{ bits} \\ \text{MAC} = 272 \text{ bits} ; \text{CTS} = 240 \text{ bits} \\ \text{ACK} = 240 \text{ bits} \end{array}$$

ACK, RTS y CTS se envían a 1 Mbps.

Datos se envían a 11 Mbps. ¿Velocidad real?

→ Número total de bits de datos: 1500 bytes \cdot 8 bits/byte = 12000 bits = P

- Los tramas ACK, RTS y CTS deben añadir la cabecera PHY (ya está sumado)

Sabemos que la velocidad real / Throughput es S · data rate

$$\text{donde } S = \frac{P_s P_{tr} P}{(1-P_{tr}) T_c + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1-P_s) T_c}$$

• P_s = probabilidad de transmisión con éxito: $P_s = \frac{\gamma^w (1-\gamma)^{m-w}}{P_{tr}}$

- donde: γ = probabilidad de que una estación transmita en una ranura temporal concreta.

$$\gamma = \frac{2(1-p)}{(1-p)(w+1) + p^w (1-(2p))^m} = \frac{2}{1+w + p^w \sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i}$$

- donde: p = probabilidad condicional de colisión vista por un paquete transmitiendo

$$p = 1 - (1-\gamma)^{n-1} \rightarrow \gamma = 1 - \sqrt[1-p]{1-p}$$

- donde: P_{tr} = probabilidad de al menos una transmisión en la ranura temporal (time slot) considerada

$$P_{tr} = 1 - (1-\gamma)^w$$

Para hallar γ y p iteraremos entre valores de 0'1 a 0'2 con p :

Probamos con $p=0'15$:

$$1^{\circ} \quad \gamma = 1 - \sqrt[1-p]{1-p} = 1 - \sqrt[1-0'15]{1-0'15} = [0'0398]$$

$$2^{\circ} \quad \gamma = \frac{2}{1 + 31 + 0'15 \cdot 31 \sum_{i=0}^{m-1} (2-0'15)^i} = [0'054] \quad \text{No coinciden en la decisión.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{CW}_{\max} = 2^m \cdot w \\ \Rightarrow \\ m = \lg_2 \left(\frac{W_{\max}}{w} \right) \end{array} \right.$$

Probamos con $P = 0.18$:

$$1^{\circ} \gamma = 1 - \sqrt{1 - 0.18} = [0.0484]$$

$$2^{\circ} \gamma = \frac{2}{1 + 3 + 0.18 + 3 \cdot \frac{1}{\gamma}} = [0.0491]$$

Coincidir en la tercera, luego podríamos tomar los valores supuestos y calcularlos de ρ y γ .

Como sabemos cuáles son por ejemplo de las diapositivas: $\rho = 0.178$ y $\gamma = 0.048$

- Calculamos P_{rt} : $P_{rt} = 1 - (1 - \gamma)^5 = 1 - (1 - 0.048)^5 = 0.1218$

- Calculamos P_s : $P_s = \frac{5 \cdot 0.048 (1 - 0.048)^5}{0.1218} = 0.190421$

Sabemos que T_c y T_s son:

$$T_c^{rts} = RTS + SIFS + \delta = \frac{288 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 50 \mu s + \frac{1}{3 \cdot 10^{-8} \text{ ms}} = 0.1338 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} T_s^{rts} &= RTS + SIFS + \delta + CTS + SIFS + \delta + H + P + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \\ &= \frac{288 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 10 \mu s + 0 + \frac{240 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 10 \mu s + 0 + \frac{(128 + 272) \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + \frac{12000 \text{ bits}}{11 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 10 \mu s + 0 + \frac{240}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 50 \mu s \end{aligned}$$

$$\Rightarrow T_s^{rts} =$$

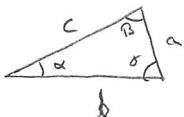
REDES INALÁMBRICAS y MOVILIDAD

RELACIÓN DE EJERCICIOS - TEMA 4

- Demostración existencia planes simétricos para tamaños de cluster K:

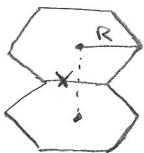
$$K = i^2 + j^2 + ij \quad \left\{ \begin{array}{l} i, j = 0, 1, 2, 3, \dots \\ K = 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, \dots \end{array} \right.$$

- Teorema del coseno:



$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

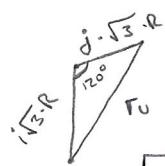
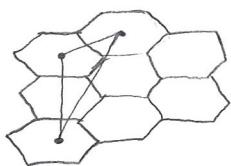
- Distancia entre celdas adyacentes:



$$\frac{x}{2} \quad R$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{x}{2}\right)^2 &= R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2 = \frac{4R^2 - R^2}{4} = \frac{3R^2}{4} \Rightarrow \\ &\Rightarrow x = \sqrt{3} \cdot R \end{aligned}$$

- Distancia de radio r_U:

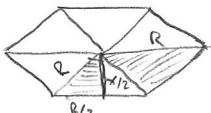


$$\text{T. Coseno} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = r_U \\ \alpha = 120^\circ \end{cases}$$

Luego:

$$\begin{aligned} r_U^2 &= (i\sqrt{3} \cdot R)^2 + (j\sqrt{3} \cdot R)^2 - 2(i\sqrt{3} \cdot R)(j\sqrt{3} \cdot R) \cdot \cos 120^\circ \\ &= i^2 R^2 3 + j^2 R^2 3 - 2ij 3 R^2 \cdot (-0.5) = \\ &= i^2 R^2 3 + j^2 R^2 3 + ij 3 R^2 \Rightarrow 3R^2(i^2 + j^2 + ij) \\ &\Rightarrow r_U = \sqrt{3} \cdot R \sqrt{i^2 + j^2 + ij} \end{aligned}$$

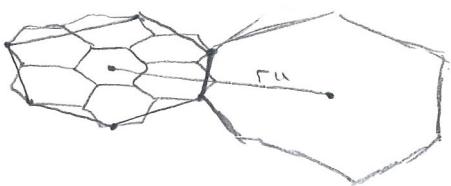
- Área de una celda:



$$\frac{x}{2} = \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2}$$

$$S_R = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R \cdot R}{2} \cdot 6 = \frac{3R^2 \sqrt{3}}{2}$$

* Área de un cluster:



$$S_K = K \cdot S_\Omega = K \frac{3\sqrt{3} R^2}{2} \quad \leftarrow \text{Equivalentes}$$

$$S_K = \frac{3\sqrt{3}}{2} \left(\frac{r_u}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} r_u^2$$

$\underbrace{r_u}_{r_{\text{cluster}}} \quad x = R \cdot \sqrt{3}$

Si $\frac{\sqrt{3}}{2} r_u^2 = K \frac{3\sqrt{3} R^2}{2} \Rightarrow r_u = \sqrt{3} \sqrt{K} \cdot R$ donde $K = i^2 + j^2 + ij$

Luego $r_u = R \sqrt{3} \sqrt{i^2 + j^2 + ij}$

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3K} \Rightarrow D = R \sqrt{3K}$$

$$r_u = \sqrt{3K} \cdot R \Rightarrow r_u = D$$

① División en frecuencia y distribución lineal celdas.

Reutilización de portadoras a distancia d .

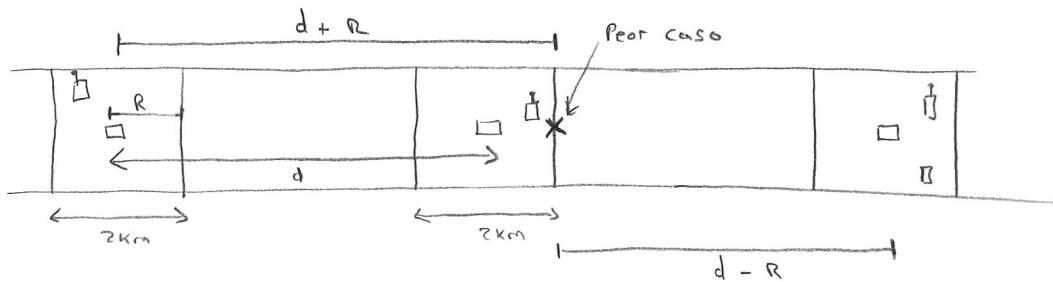
Celdas cuadradas $R = 2 \text{ km}$

Potencia P

Halla mínima distancia entre celdas para $\text{SIR} > 20 \text{ dB}$

Interferencias provenientes de las 2 celdas más cercanas

a) Modelo de propagación en espacio libre. $\delta = 2$



Sabemos que el SIR es la relación señal / interferencia y que para su cálculo nos pondremos en el peor caso, el móvil en el punto más alejado posible del centro de la celda.

$$\text{Luego: } \text{SIR} = \frac{S_R}{I} = \frac{P_t K \left[\frac{d_0}{R} \right]^\gamma}{\sum_{i=1}^{2\text{celdas}} P_t K \left[\frac{d_0}{d_i} \right]^\gamma} = \frac{PK \left[\frac{d_0}{2\text{km}} \right]^\gamma}{PK \left[\frac{d_0}{d+R} \right]^\gamma + PK \left[\frac{d_0}{d-R} \right]^\gamma}$$

$$\Rightarrow \text{SIR} = \frac{(2\text{km})^{-\gamma}}{(d+2\text{km})^{-\gamma} + (d-2\text{km})^{-\gamma}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 20 \text{ dB} < \frac{(1)^{-2}}{(d+1)^{-2} + (d-1)^{-2}}$$

Probabilos con varios valores:

$$\cdot d = 10 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 16.185 \text{ dB} \quad X$$

$$\begin{aligned} \cdot d = 15 &\Rightarrow 20 \text{ dB} < 20.145 \text{ dB} \quad \checkmark \\ \cdot d = 14 &\Rightarrow 20 \text{ dB} < 19.184 \text{ dB} \quad X \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \Rightarrow \\ d = 14.18 \end{array} \right| \Rightarrow 20 \text{ dB} < 20.133 \text{ dB} \quad \checkmark$$

b) Modelo de pérdidas Simplificado $d_0 = 100m$, $K = 1$ y $\gamma = 3$.

$$SSR = \frac{P + K \left[\frac{d_0}{d} \right]^\gamma}{\sum_{i=0}^K P + K \left[\frac{d_0}{d_i} \right]^\gamma} = \frac{\left(\frac{100m}{1000m} \right)^3}{\left(\frac{100m}{d+1km} \right)^3 + \left(\frac{100m}{d-1} \right)^3} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{0.1}{d+1} \right)^3 + \left(\frac{0.1}{d-1} \right)^3} = \frac{10^{-3}}{(d+1)^{-3} + (d-1)^{-3}}$$

Probamos con d :

$$\bullet d = 5 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 16.93 \text{ dB} X$$

$$\bullet d = 6 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 19.67 \text{ dB} X$$

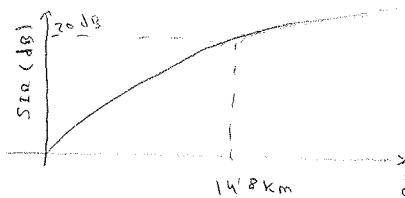
$$\bullet d = 6.5 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 20.76 \text{ dB} \checkmark$$

c) Señal recibida $\rightarrow d_0 = 100m$, $K = 2$ y $\gamma = 2$

señales interferentes $\rightarrow \gamma = 4$

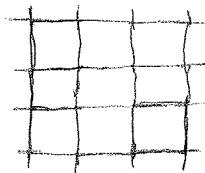
$$SINR = \frac{\left(\frac{0.1}{2} \right)^2}{\left(\frac{0.1}{d+1} \right)^4 + \left(\frac{0.1}{d-1} \right)^4} \Rightarrow \begin{cases} d = 5 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 43.29 \text{ dB} X \text{ muy lejos} \\ d = 3 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 32.77 \text{ dB} X \text{ muy lejos} \\ d = 2 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 19.94 \text{ X} \Rightarrow d = 2.1 \Rightarrow 20 \text{ dB} < 21.58 \text{ dB} \checkmark \end{cases}$$

Como conclusión obtenemos que al aumentar gamma la intensidad de las señales interiores decrece al igual que la distancia a la que deberían de multiplicarse los portadores.

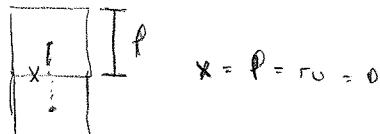


② Calcular K y SIR en sistema celular de celdas cuadradas.

Ahora el dibujo sería:

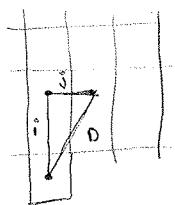


- Distancia entre celdas adyacentes:



$$r = \rho = r_0 = \rho$$

- Distancia de reuso:



$$D^2 = (i\rho)^2 + (j\rho)^2 = \rho^2 (i^2 + j^2)$$

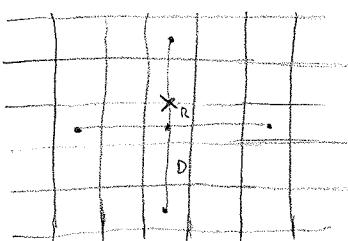
- Área de una celda cuadrada $\Rightarrow A_{\Delta} = S_{\Delta} = \rho^2$

$$\left. \begin{array}{l} \text{• Área de un cluster: } S_K = K \cdot S_{\Delta} = \rho^2 \cdot K \\ S_K = D^2 = \rho^2 (i^2 + j^2) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \rho^2 \cdot K = \rho^2 (i^2 + j^2) \Rightarrow \\ \Rightarrow K = i^2 + j^2 \end{array}$$

- Calculamos la relación $\frac{D}{R}$ donde $R = \frac{\rho}{2} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{D}{R} = \frac{\sqrt{i^2 + j^2}}{\frac{\rho}{2}} = 2\sqrt{i^2 + j^2} = 2\sqrt{K}$$

- SIR :



$$\begin{aligned} SIR &= \frac{S}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{(D-R)^{-\gamma} + (D+R)^{-\gamma} + 2D^{-\gamma}} = \\ &= \frac{1}{\left(\frac{D}{R}-1\right)^{-\gamma} + \left(\frac{D}{R}+1\right)^{-\gamma} + 2\left(\frac{D}{R}\right)^{-\gamma}} = \frac{1}{(2\sqrt{K}-1)^{-\gamma} + (2\sqrt{K}+1)^{-\gamma} + 2(2\sqrt{K})^{-\gamma}} \end{aligned}$$

③ sistema celular TDMA \rightarrow celdas hexagonales

$$\gamma = 2 \quad \text{di K para SIR} = 10 \text{ dB?}$$

di Capacidad sistema con $B = 20 \text{ MHz}$ y $B_{\text{señal}} = 100 \text{ kHz}$?

$$\text{Si sabemos que para celdas hexagonales} \Rightarrow D = R\sqrt{3K} \Rightarrow \frac{D}{R} = \sqrt{3K}$$

Sabemos también que:

$$\text{SIR} = \frac{1}{(\sqrt{3K}-1)^{-\gamma} + (\sqrt{3K}+1)^{-\gamma} + 4(\sqrt{3K})^{-\gamma}} \Rightarrow \begin{cases} K=20 \Rightarrow 10 \text{ dB} < 9.92 \text{ dB } X \\ K=21 \Rightarrow 10 \text{ dB} < 10.14 \text{ dB } \checkmark \\ \text{Cumple } K=i^2+j^2+ij \text{ con } i=4 \text{ y } j=1 \end{cases}$$

Para encontrar la capacidad, hallaremos el nº de frecuencias de la celda:

$$nf = \frac{N}{K} \quad \text{donde} \quad N = \frac{B_{\text{sistema}}}{B_{\text{señal}}} = \frac{20 \cdot 10^6 \text{ Hz}}{100 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 200 \text{ Hz}$$

Luego $nf = \frac{200}{21} = 9.52$ usuarios por celda, es decir un total de 952 usuarios/celula

④ Sistema celular TDMA \rightarrow celdas cuadradas

$$\gamma = 4 \quad \text{di K para SIR} = 24 \text{ dB?}$$

di Capacidad sistema con $B_{\text{sistema}} = 20 \text{ MHz}$ y $B_{\text{señal}} = 100 \text{ kHz}$?

Sabemos que:

$$\text{SIR} = \frac{1}{(2\sqrt{K}+1)^{-\gamma} + (2\sqrt{K}-1)^{-\gamma} + 2(2\sqrt{K})^{-\gamma}} \Rightarrow \begin{cases} \text{con } 2y2 \\ K = i^2 + j^2 = 8 \Rightarrow 24 \text{ dB} < 23.38 \text{ dB } X \\ \text{con } 3y1 \\ K = 10 \Rightarrow 24 \text{ dB} < 25.46 \text{ dB } \checkmark \end{cases}$$

La capacidad sería: $nf = \frac{20K}{10} = 20$ usuarios por celda

⑤ Capacidad en bps de l ③ y ④ con T. Shannon.

⑥ → Preguntar!

⑦ $A_{ciudad} = 10 \text{ Km}^2$

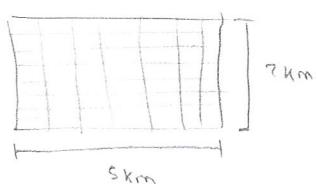
Celdas cuadradas de $1 \text{ Km}^2 \rightarrow 100 \text{ usuarios/celda}$

¿nº total de usuarios en el sistema?

¿t tiempo en atravesar una celda a 30 km/h ?

Si tenemos una ciudad de 10 Km^2 es porque el área de la ciudad ha sido calculada como

base por la altura:



Si las celdas cuadradas son de $1 \text{ Km}^2 \Rightarrow 10$ celdas cuadradas de 1 Km^2

Si por cada celda $\Rightarrow 100$ usuarios \Rightarrow 10 celdas $\Rightarrow 1000$ usuarios

Si atraviesa la celda en horizontal:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ hora} \longrightarrow 30 \text{ Km} \\ x \longrightarrow 1 \text{ Km} \end{array} \right\} t = \frac{1}{30} \text{ horas} = 2 \text{ min}$$

Si atraviesa la celda en diagonal:

$$\begin{array}{c} h \\ \diagdown \\ 1 \\ \diagup \\ 1 \end{array} \Rightarrow h^2 = 1^2 + 1^2 \Rightarrow h = \sqrt{2} \text{ Km}$$

Luego $1 \text{ hora} \longrightarrow 30 \text{ Km}$ \Rightarrow $t = \frac{\sqrt{2}}{30}$ horas = 2182 min = 2' 49"

Ahora celdas de 100 m^2 y 100 usuarios/celda. ¿total usuarios? ¿t tiempo?

Nº total celdas $\Rightarrow \frac{10000 \text{ m}^2}{100 \text{ m}^2} = 100$ celdas $\times 100$ usuarios = 10000 usuarios



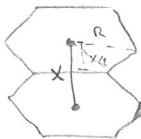
$$h = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14.14 \text{ m} \Rightarrow$$

$$t = \frac{14.14 \text{ m}}{30000 \text{ m}} = 4.71 \cdot 10^{-4} \text{ horas} = 0.028 \text{ min} = 1.69 \text{ sg}$$

(7)

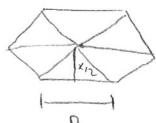
⑧ Demostrar que $D = \sqrt{3}R \sqrt{i^2 + j^2 + ij}$ para celdas hexagonales.

- Distancia celdas adyacentes:



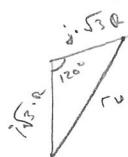
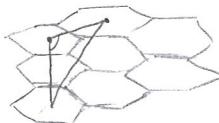
$$\left(\frac{x}{2}\right)^2 = R^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{4R^2 - a^2}{4} = \frac{3R^2}{4} \Rightarrow \\ \Rightarrow x = \sqrt{3} \cdot R$$

- Área celda hexagonal:



$$\frac{x}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R \\ S_p = \frac{R \cdot \frac{R\sqrt{3}}{2}}{2} \cdot 6 = \frac{3R^2\sqrt{3}}{2}$$

- Distancia de reuso:



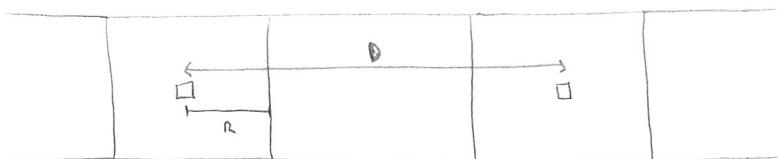
Teorema del coseno

$$r_U^2 = (i\sqrt{3} \cdot R)^2 + (j\sqrt{3} \cdot a)^2 + 2 \cdot 0.5 (i\sqrt{3} \cdot R) (j\sqrt{3} \cdot a) = \\ = 3R^2 i^2 + 3a^2 j^2 + 3R^2 (i+j) = \\ = 3R^2 (i^2 + j^2 + ij) \Rightarrow \\ \Rightarrow r_U = D = \sqrt{3} R \sqrt{i^2 + j^2 + ij}$$

⑨ Celdas cuadradas con $R = 100m$

Celdas con misma frecuencia $\Rightarrow D = 600m$

- a) d_K y celdas por cluster?



Con celdas cuadradas sabemos que: $\Rightarrow D = P$
 $\Rightarrow R = 100m$

Luego: $\frac{D}{R} = 2\sqrt{k} \Rightarrow k = \frac{D^2}{4R^2} = \frac{(600m)^2}{4 \cdot (100m)^2} = 9$

- b) n^o canales = 450 \rightarrow ¿ n^o canales asignados a cada celda?

$$\frac{450 \text{ canales/cluster}}{9 \text{ celdas/cluster}} = \boxed{50 \text{ canales/celda}}$$

c) Dibujar cluster adyacentes y mostrar asignación canales para distancia de reuse.

9	6	3	9	6	3
8	5	2	8	5	2
7	4	1	7	4	1

$$K = 9$$

$$\text{con } i = 0$$

$$j = 3$$

(10) Celdas hexagonales con $R = 1 \text{ km}$

$$D = 6 \text{ km}$$

a) $i \times ?$

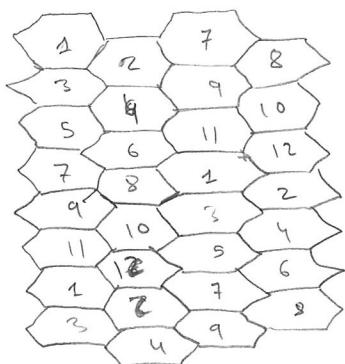
Sabemos que con celdas hexagonales: $\frac{D}{R} = \sqrt{3K} \Rightarrow$

$$\Rightarrow K = \frac{D^2}{3R^2} = \frac{(6 \text{ km})^2}{3 \cdot (1 \text{ km})^2} = 12$$

b) n° canales = 1200 $\rightarrow n^{\circ}$ canales / celda?

$$\frac{1200 \text{ canales/cluster}}{12 \text{ celdas/cluster}} = \boxed{100 \text{ canales/celda}}$$

c) Clusters adyacentes con asignación de canales:



$$K = 12 \Rightarrow \begin{cases} i=2 \\ j=2 \end{cases} \Rightarrow 2^2 + 2^2 + 2 \cdot 2 = 12$$

(14) A SIR? celdas cuadradas con $R = 10m$ y $D = 60m$

$$\gamma_i = 2$$

$$\gamma_0 = 4$$

Sabemos que SIR para celdas cuadradas es:

$$\boxed{\text{SIR} = \frac{R^{-\gamma_i}}{(D-R)^{-\gamma_0} + (D+R)^{-\gamma_0} + 2 \cdot D^{-\gamma_0}} = \frac{10^{-2}}{(60-10)^{-4} + (60+10)^{-4} + 2 \cdot 60^{-4}} = 44148 \text{ dB}}$$

↑
d = 6? porque $K = 9$

Configuración para $\gamma = \gamma_i = \gamma_0 = 4$ y $\gamma = \gamma_i = \gamma_0 = 2$. Explique orden relativo SIR.

$$\gamma = 4$$

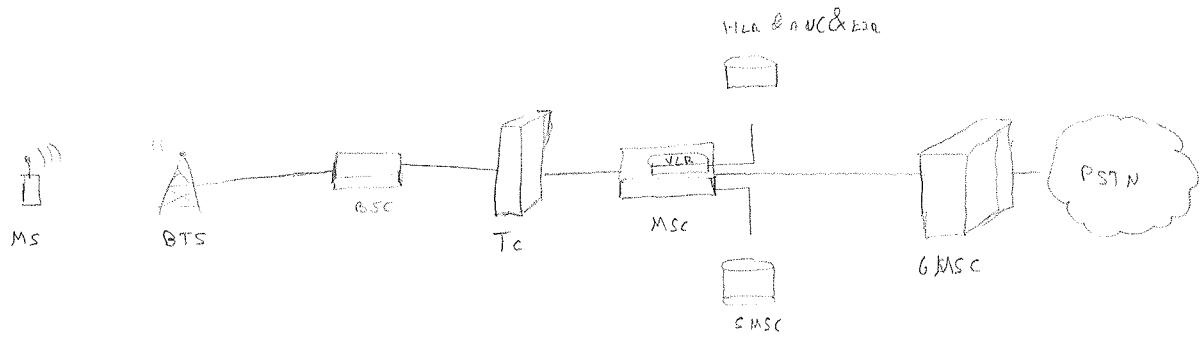
$$\boxed{\text{SIR} = \frac{10^{-4}}{50^{-4} + 70^{-4} + 2 \cdot 60^{-4}} = 24148 \text{ dB}}$$

↓
d = 6?

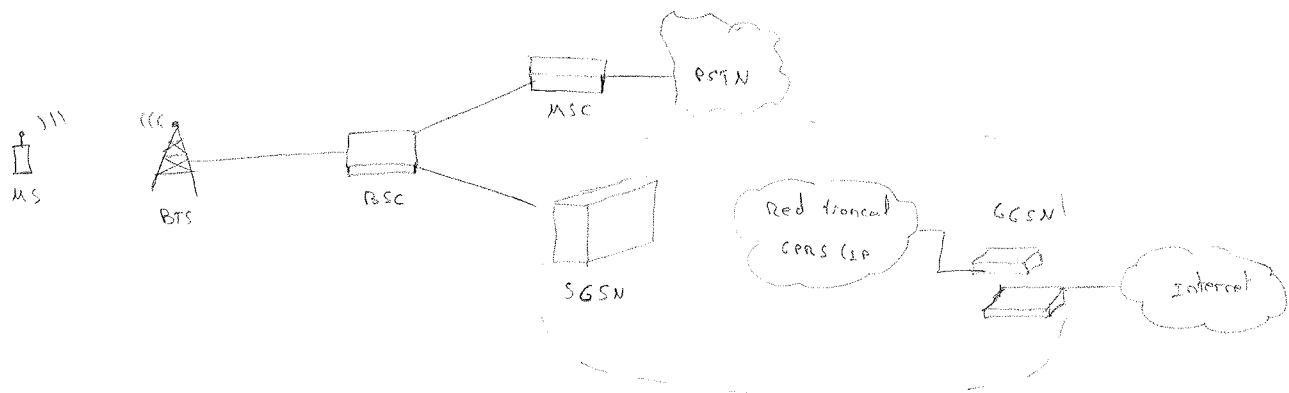
$$\gamma = 2$$

$$\boxed{\text{SIR} = \frac{10^{-2}}{50^{-2} + 70^{-2} + 2 \cdot 60^{-2}} = 9135 \text{ dB}}$$

(13) Arquitectura GSM



(20) Arquitectura GPRS



(22) d K? Celdas hexagonales sistema GSM

Borde de la celda $\Rightarrow \text{MOS} = 3/5$

Con un MOS de 3/5 tenemos una SIR de 7/5 dB aproximadamente.

Sabemos que $K = i^2 + j^2 + ij$ $\left\{ \begin{array}{l} i=2 \\ j=0 \end{array} \right.$
 $\gamma = 3$

$$\text{SIR} = \frac{1}{(\sqrt{3K}-1)^{-\gamma} + (\sqrt{3K}+1)^{-\gamma} + 4(\sqrt{3K})^{-\gamma}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K=5 \Rightarrow 7/5 \text{ dB} < 9.22 \text{ dB } \times \\ K=4 \Rightarrow 7/5 \text{ dB } < 7.58 \text{ dB } \checkmark \end{array} \right.$$

(23) d K? Sistema GPRS $\gamma = 3$

Celdas hexagonales. Tasa transmisión = 15 kbps.

Para una tasa de transmisión = 15 kbps \Rightarrow

$$\text{CIR} = 12 \text{ dB}$$

$$K = 12 \left\{ \begin{array}{l} i=2 \\ j=2 \end{array} \right.$$

$$\text{SIR} = \frac{1}{(\sqrt{3K}-1)^{-\gamma} + (\sqrt{3K}+1)^{-\gamma} + 4(\sqrt{3K})^{-\gamma}} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K=7 \Rightarrow 12 \text{ dB} < 12.16 \text{ dB } \times \\ K=9 \Rightarrow 12 \text{ dB } < 12.34 \text{ dB } \times \end{array} \right.$$

Repetir para EGPRS con tasa = 30 kbps: $\gamma = 3$

Para tasa de transmisión 30 kbps \Rightarrow

$$K = 12 \left\{ \begin{array}{l} i=2 \\ j=2 \end{array} \right.$$

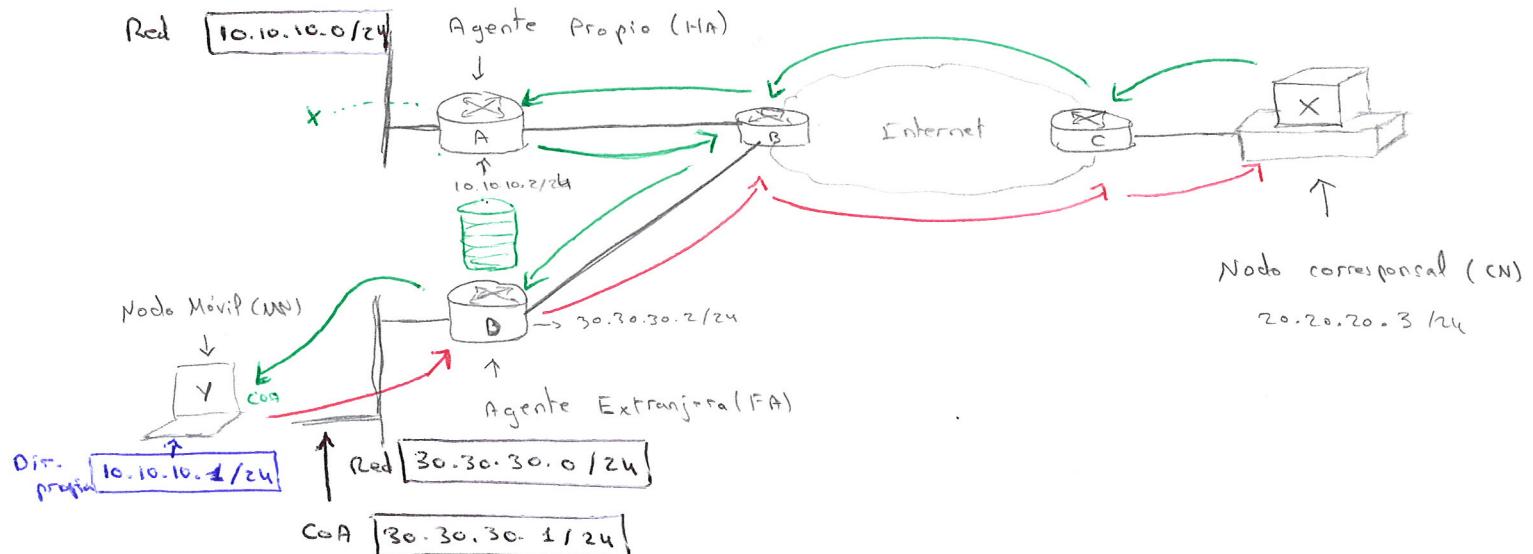
$$\text{SIR} = \frac{1}{(\sqrt{3K}-1)^{-\gamma} + (\sqrt{3K}+1)^{-\gamma} + 4(\sqrt{3K})^{-\gamma}} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K=9 \Rightarrow 14 \text{ dB } < 13.34 \text{ dB } \times \\ K=12 \Rightarrow 14 \text{ dB } < 15.13 \text{ dB } \checkmark \end{array} \right.$$

REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

RELACIÓN DE EJERCICIOS - TEMAS

⑥ Red propia $\rightarrow 10.10.10.0/24$

Red extranjera $\rightarrow 30.30.30.0/24$



Nodo móvil perteneciente a HA se encuentra en FA *

a) Estado de las tablas de HA y FA

- Tabla HA:

MN	CoA
$10.10.10.1/24$	$30.30.30.1/24$

- Tabla FA:

MN	HA
$10.10.10.1/24$	$10.10.10.2/24$

b) Tramas intercambiadas necesarias y previas a la transmisión de datos desde el NC.

En primer lugar se hace el descubrimiento del nodo móvil de la red FA. MN manda una trama de petición de anuncio con dirección IP origen Pu de MN ($10.10.10.1/24$) a la dirección IP destino $224.0.0.2$ que es una dirección de broadcast. El agente extranjero más cercano le responde a la petición con dirección IP origen de FA ($30.30.30.2/24$) y dirección IP destino Pu de MN ($10.10.10.1/24$), incluyendo en la respuesta el CoA.

En segundo lugar el nodo móvil se registra pidiendo una petición de registro al FA. Direc. IP origen \rightarrow MN ($10.10.10.1/24$), direc. IP destino \rightarrow FA ($30.30.30.2/24$). FA recibe la petición al HA $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{dir. IP origen} \rightarrow \text{FA} (30.30.30.2/24) \\ \text{dir. IP destino} \rightarrow \text{HA} (10.10.10.2/24) \end{array} \right\}$

El FA autoriza al MN enviar la respuesta de registro a FA $\left\{ \begin{array}{l} \text{dir. IP origen} \rightarrow \text{FA (10.10.10.2 /24)} \\ \text{dir. IP destino} \rightarrow \text{FA (30.30.30.2 /24)} \end{array} \right.$
 Los últimos FA comprueban la autenticación, reenvían la respuesta en MN y devuelven el tráfico hacia FA. $\left\{ \begin{array}{l} \text{dir. IP origen} \rightarrow \text{FA (30.30.30.2 /24)} \\ \text{dir. IP destino} \rightarrow \text{MN (10.10.10.1 /24)} \end{array} \right.$

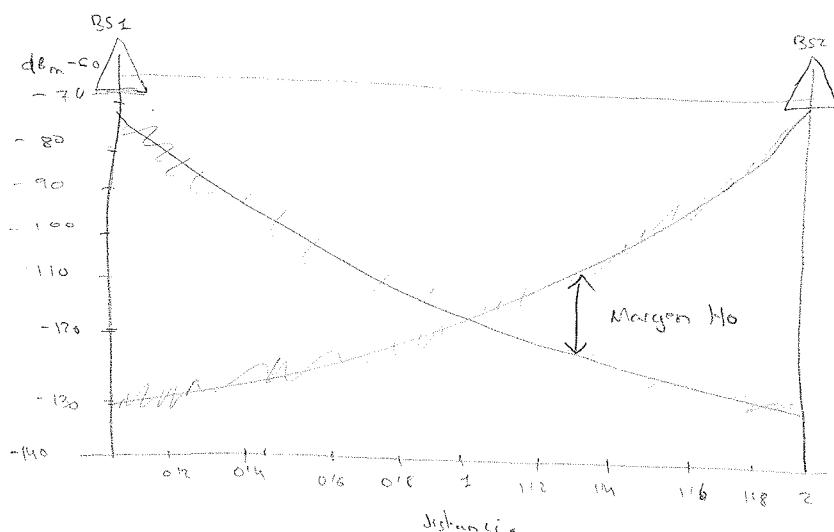
c) Intercambio de tramas de datos entre FA y MN.

Si CN quiere mandar una trama al MN deberá contactar con el router que le encaminará al router B y éste redirigirá la trama al agente propio donde se encapsulará la trama con una nueva cabecera IP que le redirigirá AL CoA del agente extranjero. Una vez la trama en el FA, se encaminará al nodo Móvil.

- Envío CN a MN $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{dir. IP origen: 20.20.20.3 /24} \\ \text{dir. IP destino: 10.10.10.1 /24} \end{array} \right.$
- Trama en FA $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{dir. IP. origen: 10.10.10.2 /24} \\ \text{dir. IP. destino: 30.30.30.2 /24 con CoA} \end{array} \right.$
- Trama en FA $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{dir. IP. origen: 30.30.30.2 /24 con CoA} \\ \text{dir. IP. destino: 10.10.10.1 /24} \end{array} \right.$

Para recibir una trama de MN a CN pasa directamente por D-B-C $\Rightarrow X$

⑥ Grafica con RXLEV

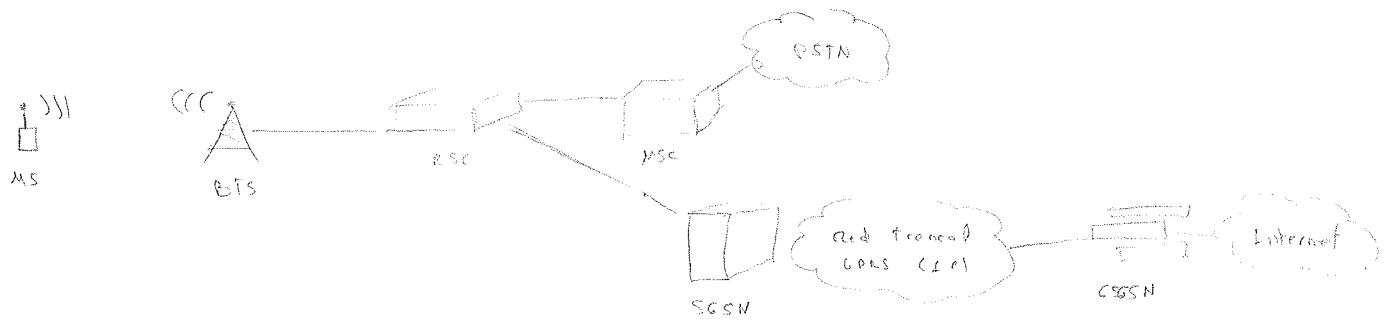


RXLEV - CELULA VECINA (n_1) $>$ MINIMO_RXLEV

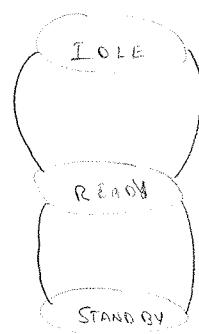
RXLEV - CELULA VECINA (n_1) = RXLEV + (CONTROL n_1) $>$ MARGEN_H0

②

(16) Arquitectura GPRS



(17) Estados móvil en GPRS



No concentrado. No se puede contactar con él

Transmitiendo y localizado en celda

No transmitiendo y localizado en área.

**REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD**

– 3^{er} curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación –
Convocatoria de Junio de 2014

Apellidos y nombre: _____

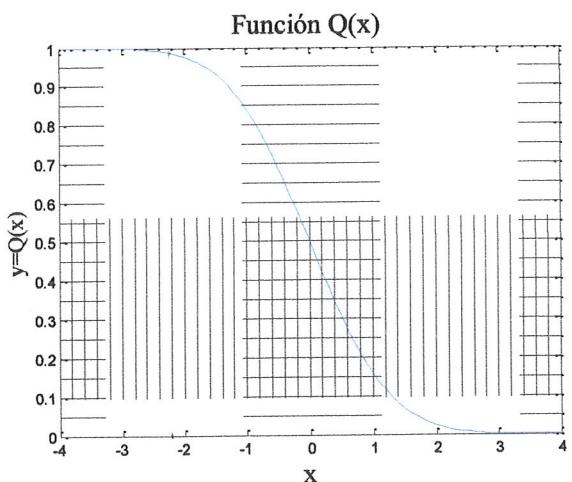
Examen de teoría (6 puntos sobre 10)

NOTA: Responda razonadamente cada pregunta, incluyendo las fórmulas y cálculos que sean necesarios.

1. (2.25 ptos.) Considere el conjunto de medidas empíricas de P_r / P_t dado en la tabla para un sistema de interior a 900 MHz.

a) Encuentre el exponente γ de las pérdidas de propagación (*path loss*) que minimiza el error cuadrático medio entre el modelo simplificado las medidas de potencia en dB, suponiendo que $d_0 = 1$ m y K viene determinada por la fórmula de la ganancia en espacio libre para este d_0 . Encuentre la potencia recibida a 150m para el modelo simplificado para una potencia de transmisión de 1 mW (0 dBm).

Distancia desde el transmisor	$M = P_r / P_t$
10 m	-70 dB
20 m	-75 dB
50 m	-90 dB
100 m	-110 dB
300 m	-125 dB



b) Encuentre $\sigma_{\psi \text{ dB}^2}$, la varianza del *shadowing* log-normal alrededor de la media de las pérdidas de propagación basándose en estas medidas.

c) Encuentre la probabilidad de corte (falta de cobertura) a 150 m, suponiendo una potencia de transmisión de $P_t = 10$ mW y un requisito de potencia mínima de $P_{min} = -110.5$ dBm. Puede utilizar la siguiente gráfica si necesita utilizar la función Q(x).

2. (1.25 ptos.) Demuestre que la distancia de reuso es $D = \sqrt{3R\sqrt{i^2 + j^2}} + ij$ para un sistema celular que utiliza celdas hexagonales en su despliegue. ¿Qué haría si quisiese mejorar la relación SIR en un sistema de este tipo? ¿Y cómo podría mejorar la capacidad del sistema?

3. (1.25 ptos.) Exponga un ejemplo en el que 2 estaciones móviles 802.11 que usan el mecanismo DCF, después de transmitir un par de tramas cada una, transmiten una tercera simultáneamente produciéndose una colisión. Explique DETALLADAMENTE con un dibujo el envío de las tramas y los tiempos que afecten a dicho envío, comentando los mecanismos implicados.

X 4. (1.25 ptos.) Describa el procedimiento de acuerdo de autenticación y clave (AKA, *Authentication and Key Agreement*) de UMTS, incluyendo los mensajes intercambiados y su objetivo, sus principales campos, y las entidades involucradas en el envío de dichos mensajes. ¿Qué se consigue tras este procedimiento? Detalle su respuesta.

the first time, the author has been able to find a specimen which can be definitely identified as *Leptothrix*.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

He also wishes to thank Dr. W. H. Brewster for his permission to publish this note.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

The author wishes to thank Dr. W. H. Brewster for his permission to publish this note.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

The author wishes to thank Dr. W. H. Brewster for his permission to publish this note.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

The author wishes to thank Dr. W. H. Brewster for his permission to publish this note.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

The author wishes to thank Dr. W. H. Brewster for his permission to publish this note.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

The author wishes to thank Dr. W. H. Brewster for his permission to publish this note.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

The author wishes to thank Dr. W. H. Brewster for his permission to publish this note.

The author wishes to thank Dr. J. S. Clark for his help in the identification of the specimen.

Leptothrix (*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

(*Leptothrix*) *leptothrix* (*Leptothrix*) *leptothrix*

REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

EXAMEN JUNIO 2014

① $F = 900 \text{ MHz}$

a) d & del PL que minimiza E.C.M?

→ MMSE

$d_0 = 1 \text{ m}$, K → fórmula espacio fibra.

d Pr a d = 150 m en modelo simplificado para $P_t = 1 \text{ mW (0 dBm)}$?

Calculamos el Pathloss hallando primero el valor de K en espacio fibra:

$$K \text{ dB} = 20 \lg_{10} \frac{\lambda}{4\pi d_0} \quad \text{donde} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{900 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = \frac{1}{300} \text{ m} \\ d_0 = 1 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$\text{Luego } K \text{ dB} = 20 \lg_{10} \frac{\frac{1}{300} \text{ m}}{4\pi \cdot 1 \text{ m}} = -31.52 \text{ dB}$$

Calculamos entonces el Pathloss del modelo simplificado sabiendo que:

$$\begin{aligned} P_r \text{ dBm} &= P_t \text{ dBm} + K \text{ dB} + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d_0}{d} \right) \Rightarrow \\ &\Rightarrow P_r \text{ dBm} = K \text{ dB} + 10\gamma \log \left(\frac{d_0}{d} \right) \end{aligned}$$

Luego:

$$P_L \text{ a } 10 \text{ m} = -31.52 \text{ dB} + 10\gamma \log \left(\frac{1 \text{ m}}{10 \text{ m}} \right) = -31.52 \text{ dB} - 10\gamma$$

$$P_L \text{ a } 20 \text{ m} = -31.52 \text{ dB} + 10\gamma \log \left(\frac{1 \text{ m}}{20 \text{ m}} \right) = -31.52 \text{ dB} - 13.92 \gamma$$

$$P_L \text{ a } 50 \text{ m} = -31.52 \text{ dB} + 10\gamma \log \left(\frac{1 \text{ m}}{50 \text{ m}} \right) = -31.52 \text{ dB} - 16.98 \gamma$$

$$P_L \text{ a } 100 \text{ m} = -31.52 \text{ dB} + 10\gamma \log \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ m}} \right) = -31.52 \text{ dB} - 20 \gamma$$

$$P_L \text{ a } 200 \text{ m} = -31.52 \text{ dB} + 10\gamma \log \left(\frac{1 \text{ m}}{200 \text{ m}} \right) = -31.52 \text{ dB} - 24.77 \gamma$$

Hallamos ahora el error cuadrático medio MMSE:

$$\text{MMSE} = F(\gamma) = \sum_{i=1}^{\text{datos}} |L_{\text{medido}}(d_i) - L_{\text{simplificado}}(d_i)|^2 \quad \text{donde el n.º de datos} = 5$$

Luego:

$$\begin{aligned}
 \text{MMSE} &= | -70 \text{ dB} - (-31152 - 10\gamma) |^2 + | -75 \text{ dB} - (-31152 - 13101\gamma) |^2 + | -90 \text{ dB} - (-31152 - 16198\gamma) |^2 + \\
 &+ | -110 \text{ dB} - (-31152 - 20\gamma) |^2 + | -125 \text{ dB} - (-31152 - 24177\gamma) |^2 = \\
 &= | -38148 + 10\gamma |^2 + | -43148 + 13101\gamma |^2 + | -58148 + 16198\gamma |^2 + | -78148 + 20\gamma |^2 + \\
 &+ | -93148 + 24177\gamma |^2 = \\
 &= | 100\gamma^2 - 76916\gamma + 1480171 | + | 169126\gamma^2 - 1131134\gamma + 1890151 | + \\
 &+ | 288182\gamma^2 - 2985198\gamma + 3419191 | + | 400\gamma^2 - 313912\gamma + 6159111 | + \\
 &+ | 613155\gamma^2 - 4630199\gamma + 8738151 | = \\
 &= | 1577113\gamma^2 - 11657111\gamma + 21688175 |
 \end{aligned}$$

Para que el valor de γ sea mínimo deberemos hacer la derivada y de ahí obtener γ igualando a cero:

$$\frac{\partial F(\gamma)}{\partial \gamma} = 0 \Rightarrow 3142126\gamma - 11657111 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{11657111}{3142126} = 31709}$$

Calculamos ahora P_r :

$$P_r \underset{\text{simplifico}}{=} P_t \cdot K \left[\frac{d_0}{d} \right]^\gamma = P_t \text{ dB}_m + K \text{ dB} + 10\gamma \lg_{10} \left(\frac{d_0}{d} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_r \text{ dB}_m = 0 \text{ dB}_m + (-31152 \text{ dB}) + 10 \cdot 31709 \cdot \lg_{10} \left(\frac{1m}{150m} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{P_r \text{ dB}_m = -112123 \text{ dB}_m}$$

b) ¿ δ 64 dB?

Sabemos que la media del shadowing log-normal es 0 por lo que según la fórmula de la varianza:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_i (x_i - \mu)^2$$

Luego la varianza del shadowing sería:

$$\sigma_{\psi}^2 = \frac{1}{S} F(\delta) \quad \text{donde:}$$

$$F(31709) = |1571113 + 31709^2 - 11657111 \cdot 31709 + 2168875| = 6612 \text{ dB}$$

Luego:

$$\sigma_{\psi}^2 = \frac{6612 \text{ dB}}{S} = 13122 \text{ dB}$$

c) ¿Probabilidad de corte $\approx 150 \text{ m}^2$, $P_t = 10 \text{ mW}$, $P_{min} = -110.5 \text{ dBm}$

$$P_t = 10 \text{ mW} = 10 \text{ dBm}$$

Sabemos que la probabilidad de corte es:

$$\text{Portage} = 1 - Q \left(\frac{P_{min} - (P_t + r \times d_B - 10 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right))}{\sigma_{\psi} \text{ dB}} \right)$$

$$\text{La desviación típica será: } \sigma_{\psi} \text{ dB} = \sqrt{13122 \text{ dB}} = 3163 \text{ dB}$$

$$\left. \begin{array}{l} d = 150 \text{ m} \\ d_0 = 1 \text{ m} \\ P_{min} = -110.5 \text{ dBm} \\ P_t = 10 \text{ dBm} \\ \delta = 31709 \end{array} \right\}$$

Luego:

$$\text{Portage} = 1 - Q \left(\frac{-110.5 \text{ dBm} - (10 \text{ dBm} + (-3163 \text{ dB}) - 10 \cdot 31709 \cdot \log_{10} \left(\frac{150 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right))}{3163 \text{ dB}} \right) \approx$$

$$\Rightarrow \text{Portage} = 1 - Q(-2.127) = \left\{ \begin{array}{l} \text{según la} \\ \text{gráfica} \end{array} \right\} \approx 1 - 0.98 \approx 0.02 \rightarrow \text{Portage} \approx 2\%$$

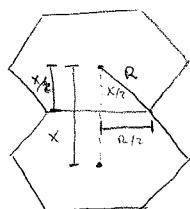
② Demostrar que $D = \sqrt{3} \cdot R \cdot \sqrt{i^2 + j^2 + i \cdot j}$ con celdas hexagonales

- En primer lugar el teorema del coseno dice que :



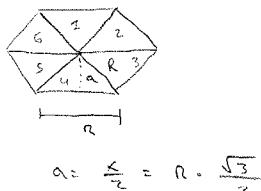
$$\rightarrow a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos(\alpha)$$

- Por otro lado sabemos que la distancia entre celdas adyacentes hexagonales es:



$$\begin{aligned} x_h &= \sqrt{\left(\frac{x}{2}\right)^2 + R^2} = \sqrt{R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2} = \sqrt{R^2 - \frac{R^2}{4}} = \sqrt{\frac{3R^2}{4}} = \frac{\sqrt{3}R}{2} \\ &= \frac{\sqrt{3}R}{2} \Rightarrow \frac{x}{2} = R\sqrt{\frac{3}{4}} \Rightarrow x = R\sqrt{\frac{3}{4}} \Rightarrow \\ &\Rightarrow x = 2 \cdot R \sqrt{\frac{3}{4}} = R\sqrt{\frac{2+3}{4}} = \boxed{x = R\sqrt{3}} \end{aligned}$$

- Sabemos que el área de un hexágono es: (ESTO NO SIRVE)



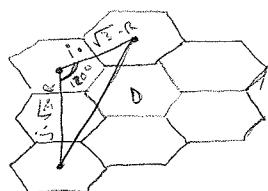
Luego :

$$S_R = \frac{R \cdot R \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} \cdot 6 = \frac{3R^2\sqrt{3}}{2}$$

ESTE APARTADO SERVE PARA CALCULAR EL ÁREA DEL CLUSTER

- Para hallar el radio D :

Según el teorema del coseno:



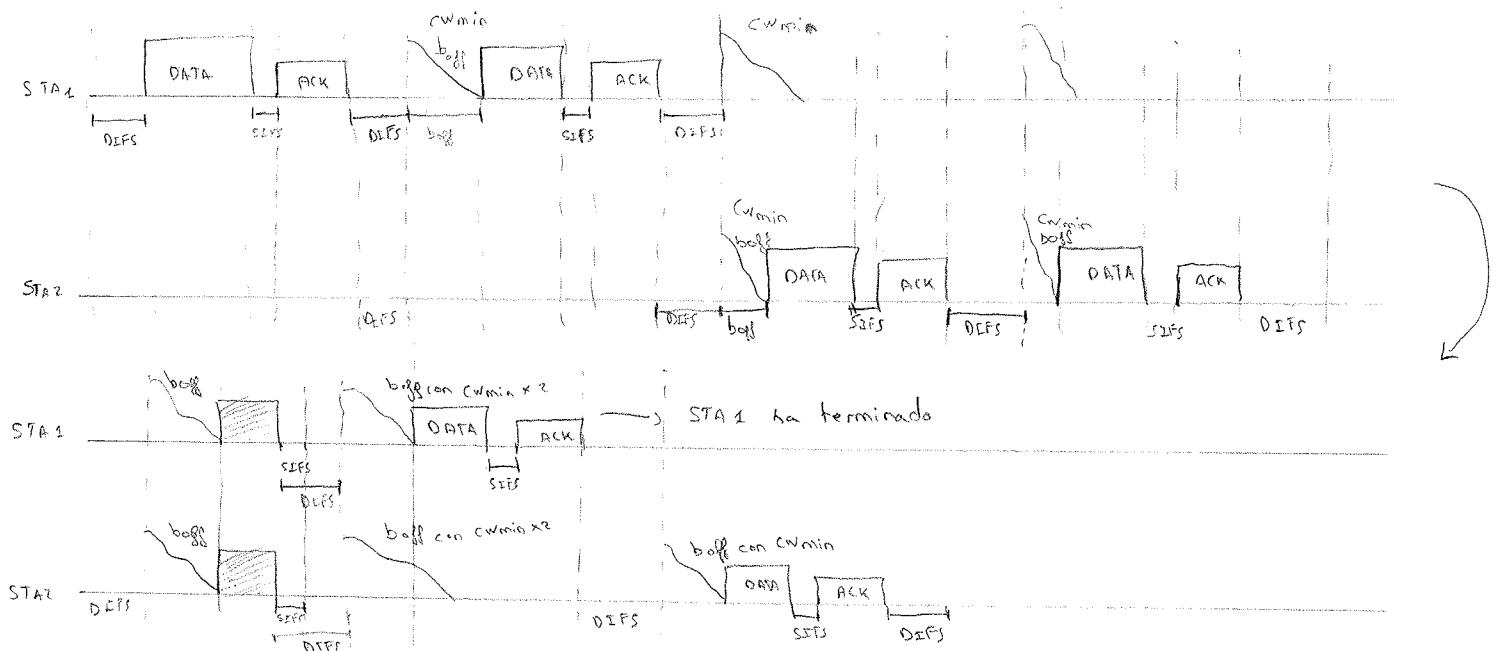
$$\begin{aligned} D^2 &= (j\sqrt{3} \cdot R)^2 + (i\sqrt{3} \cdot R)^2 - 2(j\sqrt{3} \cdot R)(i\sqrt{3} \cdot R) \cdot \cos(120^\circ) \\ &= 3j^2R^2 + 3i^2R^2 - 2(-0.5)(3ij \cdot R^2) = \\ &= 3j^2R^2 + 3i^2R^2 + 3ijR^2 = 3R^2(i^2 + j^2 + ij) \end{aligned}$$

Luego

$$\boxed{D = \sqrt{3} \cdot R \sqrt{i^2 + j^2 + ij}}$$

¿Cómo mejorar la SER? La SER mejora cuando K disminuye al igual que la capacidad, ¿Cómo mejorar la capacidad? por tanto disminuimos el valor de K que para el caso de las celdas hexagonales es $K = i^2 + j^2 + ij$.

- ③ Dos estaciones móviles, STA1 y STA2 están DCF → Tras dos frames cada una, tercera simultáneamente → colisión. Explicar proceso



Empieza a transmitir STA1 después de un tiempo DIFS. Cuando se han enviado el segundo paquete de la STA1, comienza a transmitir STA2 por lo que el que tenga menor b_{off} transmitirá primero.

En el momento en el que las dos estaciones han enviado cada una dos frames, a la hora de calcular el back off, ambas resultan ser iguales por lo que colisionan y se espera SIFS para recibir el ACK pero como no llega se espera DIFS y entonces se calcularía de nuevo el b_{off} pero ahora con las ventanas mínimas multiplicadas por 2 (solo las estaciones que colisionen).

**REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD**

– 3^{er} curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación –
Convocatoria de Septiembre de 2014

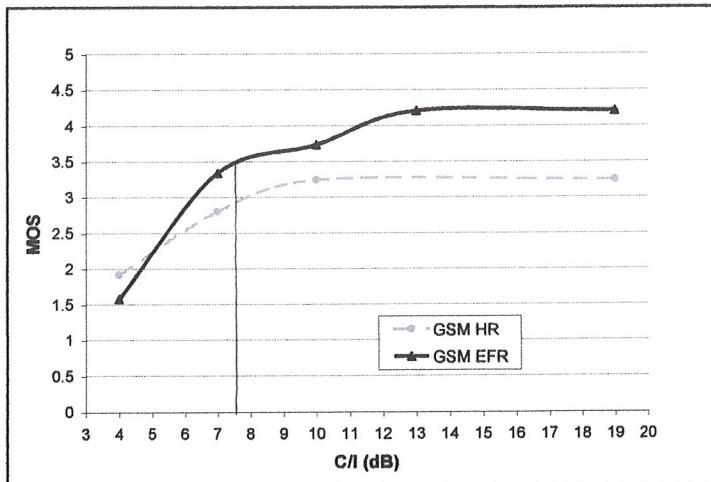
Apellidos y nombre: _____

Examen de teoría (6 puntos sobre 10).

NOTA: Responda razonadamente cada pregunta, incluyendo las fórmulas y cálculos que sean necesarios.

1. (2 ptos.) Considere un sistema de comunicaciones móviles GSM en la banda de 900 MHz con un despliegue regular utilizando celdas hexagonales.

- Calcule el tamaño del cluster mínimo si se requiere una calidad superior a $MOS = 3.5$ (usando el códec EFR) en el borde de la celda. Suponga que la propagación sigue el modelo simplificado con un exponente de pérdidas de propagación $\gamma = 3$ y una distancia de referencia de $d_0 = 10$ m; la constante K del modelo de propagación se supone igual a la del modelo de espacio libre.
- Suponga que dispone de 15 portadoras para todo el sistema GSM. Por simplicidad, considere que todos los canales disponibles se utilizan para tráfico (obviando los que se usarían para señalización). Suponiendo una densidad de carga de tráfico de 3 Erlangs / km², calcule el radio de la celda para que la probabilidad de bloqueo sea inferior al 0.5%.
- Suponiendo que se mantiene el mismo factor de reuso K , ¿qué ocurriría, en términos de capacidad y de calidad, si aumenta el radio de las celdas? ¿Y si se reduce? Razona tu respuesta.
- Encuentre la probabilidad de corte (falta de cobertura) en el borde de la celda si la potencia de transmisión de la estación base es de 46 dBm, la sensibilidad típica de un móvil es de -102 dBm y se tiene un *shadowing* con distribución log-normal y varianza $\sigma_{\psi\text{dB}}^2 = 10$.
- Calcule el porcentaje de la celda que tiene cobertura suponiendo el *shadowing* indicado en el apartado anterior.



2. (1.25 ptos.) Demuestre que el tamaño de un *cluster* para un despliegue hexagonal regular debe cumplir la ecuación $K = i^2 + j^2 + i \cdot j$, siendo i y j números enteros.

3. (1.5 ptos.) Calcule la velocidad real de sistema de una red IEEE 802.11g con 5 estaciones activas y utilizando RTS/CTS. Los parámetros de 802.11g son los siguientes: slot time = 9 µs, SIFS = 10 µs, DIFS = 28 µs, CWmin = 16, CWmax = 1024. Además, los paquetes de datos (niveles superiores) son de 1500 bytes, la cabecera PHY es de 128 bits, la cabecera MAC es de 272 bits, las tramas ACK son de 240 bits, las tramas RTS de 288 bits y las tramas CTS de 240 bits. Las tramas ACK, RTS y CTS se envían a una tasa básica (basic rate) de 1 Mbps, mientras que las tramas de datos se envían a 54 Mbps (data rate).

4. (1.25 ptos.) Respecto a la seguridad en GSM:

- Describa los elementos que componen la tripleta de seguridad en GSM.
- En GSM, ¿se manda la clave individual Ki del usuario por el interfaz radio? ¿Por qué? ¿Cómo se realiza entonces la encriptación?
- En GSM, ¿qué algoritmos se emplean para calcular SRES y Kc? ¿Qué algoritmo se utiliza para el cifrado de los datos?

REDES INALÁMBRICAS Y MOBILIDAD

EXAMEN SEPTIEMBRE 2014

① GSM en banda 900 MHz con celdas hexagonales

a) ¿tamaño cluster mínimo? $Mos = 3/5$; $\gamma = 3$; Modelo simplificado; $d_0 = 10 \text{ m}$
 $K = \text{modelo espacio libre.}$

Gracias a la gráfica sabemos que un Mos de $3/5 \Rightarrow SIR = 715 \text{ dB}$

Calculamos $K = 20 \lg_{10} \frac{\lambda}{4\pi d_0} = 20 \lg_{10} \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{900 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = -511.52 \text{ dB}$

NO HACE FALTA AQUÍ

Como nos piden el tamaño del cluster mínimo, que es el nº de celdas que tiene, sabemos que el SIR es:

$$SIR = \frac{d}{(\sqrt{3K}-1)^{-\gamma} + (\sqrt{3K}+1)^{-\gamma} + n(\sqrt{3K})^{-\gamma}}$$

Para $K=5 \Rightarrow 715 \text{ dB} < 912 \text{ dB } \checkmark$

Para $K=4 \Rightarrow 715 \text{ dB} < 7158 \text{ dB } \checkmark$

$K = i^2 + j^2 + ij = 4 \Rightarrow \begin{cases} i=2 \\ j=0 \end{cases}$

El tamaño mínimo del cluster es de $K=4$

b) 15 portadoras para GSM. Densidad de carga de tráfico = 3 Erlangs / Km²

$$\rho < 0.15\% \quad \text{d} \text{ Radio celda?} \quad A = 3 \frac{\text{Erlangs}}{\text{Km}^2}$$

Sabemos que el tráfico de una celda es: $A_{\text{celda}} = M \cdot A_m \cdot \text{area}_{\text{celda}} = M \cdot A_m \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$

El nº de frecuencias por celda es de $\eta f = \frac{N}{K} = \frac{15}{4} = 3.75$ frecuencias cluster

Como en GSM se utilizan 8 canales de tráfico, habrá:

$$3.75 \frac{f}{\text{cluster}} \cdot 8 \text{ cluster} = 30 \text{ canales lógicos por celda} = N_{ch}$$

Tendremos que obtener un A tal que:

$$0.005 \leq P_B > \frac{A^{N_{ch}} / N_{ch}!}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{A^n}{n!}} > \frac{A^{30} / 30!}{\sum_{n=0}^{\infty} A^n / n!} \Rightarrow \begin{cases} \bullet A=15 \Rightarrow \rho = 0.0002 \times \\ \bullet A=20 \Rightarrow \rho = 0.008 \Rightarrow 0.005 > 0.008 \times \\ \bullet A=19.2 \Rightarrow \rho = 0.0055 \Rightarrow 0.005 > 0.0055 \times \\ \bullet A=19 \Rightarrow \rho = 0.0051 \Rightarrow 0.005 < 0.0051 \checkmark \end{cases}$$

①

Como tenemos un total de 1912 Erlangs y una densidad de 3 Erlangs/km² =>

$$\Rightarrow \boxed{\text{Área} = \frac{1912 \text{ Erlangs}}{3 \text{ Erlangs/km}^2} = 6133 \text{ km}^2}$$

Por tanto si el área de una celda hexagonal es:

$$S_R = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \Rightarrow \boxed{R = \sqrt{\frac{2 \cdot S_R}{3\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6133 \text{ km}^2}{3\sqrt{3}}} = 2156 \text{ km}}$$

c) de Capacidad y calidad según R? $\left[\frac{k}{R} = \sqrt{3k} \right]$

Conforme a la calidad podemos decir que como k es constante y si varía R, d tiene que ajustarse, luego la calidad no varía si R↑ o R↓.

En cambio para una misma k, si R↑, la capacidad disminuye porque al tener las mismas frecuencias en una celda mayor para más usuarios, el sistema tendrá menos capacidad para atender a todos. Al contrario para R↓.

d) Probabilidad de corte si P_f = 46 dBm, sensibilidad = -102 dBm y σ_P² = 10.

Sabemos que la probabilidad de corte es:

$$\text{Poutage} = 1 - Q \left(\frac{P_{\min} - (P_f + K \text{dB} - 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{R}{d_0} \right))}{\sigma_P \text{dB}} \right)$$

$$\sigma_P \text{dB} = \sqrt{10 \text{dB}} = 3.16 \text{ dB}$$

$$\text{Poutage} = 1 - Q \left(\frac{-102 \text{ dBm} - (46 \text{ dBm} + (-51.52 \text{ dB}) - 10 \cdot 3 \log_{10} \left(\frac{2156 \text{ km}}{10 \text{ m}} \right)))}{3.16 \text{ dB}} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Poutage} = 1 - Q(-91.77) = 1 - 0 \Rightarrow \boxed{\text{Poutage} = 0 \%}$$

e) de % celdas con cobertura?

$$C = Q(a) + e^{\left[\frac{2-a^2}{b^2} \right]} \cdot a \left(\frac{2-ab}{b} \right) \quad \text{donde} \quad \begin{cases} a = \frac{P_{\min} - P_f(R)}{\sigma_P \text{dB}} \\ P_f(R) = P_f + K \text{dB} - 10 \log_{10} \left(\frac{R}{d_0} \right) \\ b = \frac{10 \cdot \log_{10}(e)}{\sigma_P \text{dB}} \end{cases}$$

Calculamos $\overline{Pr(A)}$:

$$\overline{Pr(A)} = 46 \text{ dBm} + (-5152 \text{ dB}) - 10 \cdot 3 \cdot \lg_{10}\left(\frac{100 \cdot 10^3}{100}\right) = -71131 \text{ dBm}$$

$$\alpha = \frac{-102 \text{ dBm} - (-71131 \text{ dBm})}{\sqrt{10} \text{ dB}} = \frac{-30168}{\sqrt{10}} = -917$$

$$b = \frac{10 \cdot 3 \cdot \lg_{10}(e)}{\sqrt{10} \text{ dB}} = 4112$$

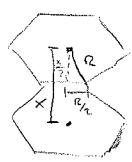
Por tanto $C = Q(-917) + e^{\left(\frac{2+2+(-917)}{4112}\right)} \cdot Q\left(\frac{2-(-917)(4112)}{4112}\right) =$

$= 1 + 3152 \cdot Q(1018)^0 = 1 \Rightarrow$

$\therefore C = 100\%$

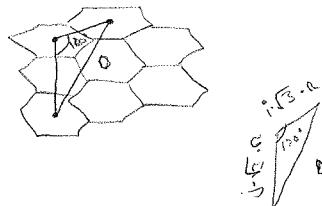
② Demostrar que tamaño cluster debe cumplir $K = i^2 + j^2 + ij$ para despliegue hexagonal regular.

- Distancia entre centros de celdas adyacentes:



$$\left(\frac{x}{2}\right)^2 = R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2 + \frac{4R^2 - R^2}{4} = \frac{3}{4}R^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{x}{2} = R \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow x = R\sqrt{3}$$

- La distancia de radio es: El teorema del coseno dice:



$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos(\alpha)$$

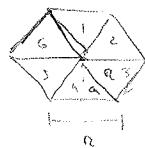
Luego:

$$\cos(120^\circ) = -0.5$$

$$D^2 = (i\sqrt{3}R)^2 + (j\sqrt{3}R)^2 - 2(i\sqrt{3}R)(j\sqrt{3}R)(-0.5) ; \\ = 3R^2(i^2 + j^2 + ij) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D = \sqrt{3} \cdot R \sqrt{i^2 + j^2 + ij}$$

- El área de la celda hexagonal es:



$$a = \frac{x}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R$$

$$\text{Luego: } S_a = \frac{R \cdot R \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} \cdot 6 = \frac{3R^2 \sqrt{3}}{2}$$

- El área del cluster será:

$$\therefore S_K = K \cdot S_a = K \cdot \frac{3R^2 \sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore S_K = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot (R_{\text{cluster}})^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \left(\frac{D}{\sqrt{3}}\right)^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} \frac{D^2}{3} = \frac{D^2 \sqrt{3}}{2}$$

Igualamos:

$$K \frac{3R^2 \sqrt{3}}{2} = \frac{D^2 \sqrt{3}}{2} = 3R^2(i^2 + j^2 + ij) \Rightarrow \boxed{K = i^2 + j^2 + ij} \quad \underline{\text{Comprobado.}}$$

③ ¿Velocidad real? IEEE 802.11g m = 5 estaciones con RTS/CTS

$$\text{slot time} = 9 \mu\text{s}$$

$$Cw_{\min} = 16$$

$$PHY = 128 \text{ bits}$$

$$RTS = 288 \text{ bits}$$

$$SIFS = 10 \mu\text{s}$$

$$Cw_{\max} = 2048$$

$$MAC = 272 \text{ bits}$$

$$DIFS = 28 \mu\text{s}$$

$$P = 1500 \text{ bytes}$$

$$ACK = 240 \text{ bits}$$

$$CTS = 240 \text{ bits}$$

$$ACK, RTS, CTS \rightarrow 4 \text{ Mbps}$$

$$\text{Datos} \rightarrow 54 \text{ Mbps}$$

La velocidad real del sistema será el Throughput por data rate (54Mbps).

Sabemos que

$$S = \frac{P_s P_{tr} P}{(1 - P_{tr}) \tau + P_{tr} \cdot P_s \cdot T_s + P_{tr} (1 - Q_s) \bar{T}_c}$$

Hallamos los distintos parámetros:

$$P_{tr} = 1 - (1 - \gamma)^m$$

$$P_s = \frac{\gamma \tau (1 - \gamma)^{m-1}}{P_{tr}}$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \frac{2(1 - \gamma^2)}{(1 - \gamma^2)(w+1) + pw(1 - (\gamma^2)^m)} \\ P &= 2 - (1 - \gamma)^{m-2} \end{aligned} \right\} = \frac{2}{1 + w + pw \sum_{i=0}^{m-1} (\gamma^2)^i}$$

$$\text{Hallamos } m \rightarrow Cw_{\max} = 2^m \cdot w \Rightarrow$$

$$m = \lg_2 \left(\frac{Cw_{\max}}{w = Cw_{\min}} \right) = \lg_2 \left(\frac{1024}{16} \right) = 6$$

Para hallar γ y P iteramos con valores de p :

$$\bullet p = 0.5$$

$$\gamma = \frac{2}{1 + 16 + 0.5 \cdot 16 \sum_{i=0}^{5-1} (2 \cdot 0.5)^i} = 0.0307 \Rightarrow P = 2 - (1 - 0.0307)^{5-2} = 0.1117 \quad X$$

$$\bullet p = 0.8$$

$$\gamma = 0.12 ; \gamma = 0.0703 \Rightarrow p = 0.752 \sim$$

$$\gamma = 0.0056 \Rightarrow p = 0.0224 \quad X$$

$$\boxed{p = 0.25} ; \boxed{\gamma = 0.020} = \boxed{p = 0.28} \quad \checkmark$$

$$\bullet p = 0.12$$

$$\gamma = 0.089 \Rightarrow p = 0.131 \sim$$

Luego

$$\boxed{p \approx 0.128} \\ \boxed{\gamma \approx 0.080}$$

$$\text{Por tanto: } P_{tr} = 1 - (1 - 0.08)^5 = 0.134$$

$$P_s = \frac{5 \cdot 0.08 (1 - 0.08)^4}{0.134} = 0.184$$

Hallamos T_s y T_c : Suponemos que las subretardos ACK, RTS y CTS sea van constante en δ

$$T_s^{\text{RTS}} = \text{RTS} + \text{SIFS} + \delta + \text{CTS} + \text{SIFS} + \delta + H + P + \text{SIFS} + \delta + \text{ACK} + \text{DIFS} + \delta$$

Todo en unidades temporales

$$\delta \approx 0$$

$$H = P_{\text{PHY}} - M_{\text{AC}}$$

$$T_s^{\text{RTS}}: \frac{288 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 10 \mu\text{s} + \frac{240 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 10 \mu\text{s} + \frac{28 \text{ bits} + 672 \text{ bits}}{56 \cdot 10^6 \text{ bps}} + \frac{12000 \text{ bits}}{56 \cdot 10^6 \text{ bps}} +$$

$$P = 1500 \text{ bytes}, \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ byte}} = 12000 \text{ bits}$$

$$+ 10 \mu\text{s} + \frac{240 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 28 \mu\text{s} = 1037 \text{ ms}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_s^{\text{RTS}} = 1037 \text{ ms} \\ T_c^{\text{RTS}} = 0.1316 \text{ ms} \end{array} \right.$$

$$T_c^{\text{RTS}} = \text{RTS} + \text{DIFS} + \delta = \frac{288 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 28 \mu\text{s} = 0.1316 \text{ ms}$$

Por tanto: $\tau = \text{slot time} = 9 \mu\text{s}$

$$S = \frac{0.184 \cdot 0.134 + \frac{12000 \text{ bits}}{56 \cdot 10^6 \text{ bps}}}{(1 - 0.134) \cdot 9 \mu\text{s} + 0.134 \cdot 0.184 \cdot 1037 \cdot 10^{-3} + 0.134(1 - 0.184) \cdot 0.1316 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow S = 0.1916$$

Luego la velocidad real del sistema será:

$$\boxed{\text{Throughput efectivo} = S \cdot \text{data rate} = 0.1916 \cdot 56 \cdot 10^6 \text{ bps} = 10.73 \text{ Mbps}}$$

④ Seguridad GSM:

a) Elementos triplete seguridad en GSM.

Los elementos de la tripleta son RAND, SRES y Kc. Estos tres elementos son generados por el AUC.

- RAND: es un número aleatorio de 128 bits generado por el AUC y que unido al Ki permite obtener otro número denominado SRES, utilizando en el algoritmo A3.
- SRES: respuesta firmada, es un número de 32 bits que se obtiene al aplicar el algoritmo A3 a la clave Ki y a RAND.
- Kc es una clave de cifrado utilizada para cifrar bit a bit en bloques de 114 bits junto el nº de frame FN.

b) ¿Se manda la clave individual Ki del usuario por el interfaz radio? ¿Por qué? ¿Cómo se realiza entonces la encriptación?

Ki jamás se transmite por el interfaz radio porque es una clave única que se le asigna al usuario a la vez que el IMSI y es guardada en la SIM. Es la que junto a RAND se usará para calcular Kc que se guardará en la SIM e irá variando cada actualización de la localización.

c) ¿Qué algoritmos se emplean para calcular SRES y Kc? ¿Qué algoritmo se usa para el cifrado de los datos?

Se emplea el algoritmo A3 para SRES y A8 para Kc.

Para el cifrado de datos se utiliza el algoritmo A5/X.



Universidad de Granada
Departamento de Teoría de la Señal,
Telemática y Comunicaciones



ETSIIT
C/ Periodista Daniel Sucedo Aranda, s/n
18071 - Granada
Tf: 958 240840 - Fax: 958 240831

REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

– 3^{er} curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación –
Convocatoria de Septiembre de 2014

Apellidos y nombre: _____

Examen de prácticas (2.5 puntos sobre 10)

Todas las preguntas puntuán 0.25 puntos. Cada pregunta tipo test incorrecta resta 1/3 de su puntuación. Las preguntas sin contestar no restan nota.

1. Indique cuál de las siguientes afirmaciones es cierta en relación con las redes Wi-Fi ó IEEE 802.11:
 a) La banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) en 2.4 GHz está compuesta por canales de 5 MHz que se solapan.
 b) La banda ISM en 2.4 GHz está compuesta por canales de 22 MHz que se solapan.
 c) La banda U-NII (*Unlicensed Networking Information Infrastructure*) en 5 GHz está compuesta por canales de 5 MHz que se solapan.
 d) La banda U-NII en 5 GHz está compuesta por canales de 20 MHz que se solapan.

2. A la hora de crear un punto de acceso Wi-Fi en Linux en un equipo como los usados en el laboratorio, indique qué servicio es necesario utilizar:
 a) El servicio /etc/init/kismet.
 b) El servicio /etc/init.d/hostapd.
 c) El servicio /etc/init.d/dhcp.
 d) El servicio /etc/init.d/accesspoint:

3. Para establecer en linux la potencia de transmisión de una tarjeta Wi-Fi a 4dBm uso el comando:
a) *iw dev wifi connect SSID*.
b) *iw dev wifi set transmission power 4*.
c) *iw dev wifi access point power 4*.
 d) *iw dev wifi txpower fixed 4*. → Creo que sería con iw config txpower fixed 4.

4. Indique qué lista de valores sería válida para el tamaño de un cluster en un despliegue celular con celdas hexagonales regulares:
 a) $k = 1, 3, 5, 9, 12, \dots$
 b) $k = 1, 3, 4, 7, 9, 12, \dots$
c) $k = 2, 4, 8, 12, 16, \dots$
d) $k = 1, 2, 3, 7, 9, 12, \dots$

5. Suponiendo un entorno que en el que se cumple el modelo de propagación simplificado, indique qué afirmación es cierta en relación a un despliegue celular regular con celdas hexagonales:
 a) Cuando se incrementa el factor de reuso k, la distribución espacial de CIR mejora, y a la vez se incrementa la reutilización de frecuencias.
 b) Cuando se incrementa el factor de reuso k, la distribución espacial de CIR mejora, y a la vez disminuye la reutilización de frecuencias.
 c) Cuando se incrementa el factor de reuso k, la distribución espacial de CIR se degrada, y a la vez se incrementa la reutilización de frecuencias.
 d) Cuando se incrementa el factor de reuso k, la distribución espacial de CIR se degrada, y a la vez disminuye la reutilización de frecuencias.

6. Suponiendo un entorno que en el que se cumple el modelo de propagación simplificado, indique qué afirmación es cierta en relación a un despliegue celular regular con celdas hexagonales:
 a) Para un reuso dado, la distribución espacial de CIR mejora cuando aumenta el exponente del modelo de propagación.
 b) Para un reuso dado, la distribución espacial de CIR mejora cuando disminuye el exponente del modelo de propagación.
c) Para un reuso dado, la distribución espacial de CIR es independiente del exponente del modelo de propagación.
d) Para un reuso dado, el exponente del modelo de propagación depende del reuso.

$$SIR = \frac{P}{k}$$

$$\frac{P}{k} = \sqrt{3}K$$

1 de 2 (tipo A)

$$SIR = \frac{P}{k}$$

7. Indique qué afirmación es cierta en relación al uso de teoría de juegos para realizar un despliegue celular, tal como se ha visto en la práctica realizada en el laboratorio:
- a) Los jugadores representan a las celdas, que deben elegir qué frecuencias utilizan.
 - b) La estrategia seguida por los jugadores es la de, para una situación dada, maximizar el nivel de interferencia recibida. En el caso visto en el laboratorio para realizar un despliegue celular, esta función de utilidad reflejaba la interferencia entre las celdas que utilizasen el mismo canal.
 - c) El juego planteado no converge a un equilibrio estable, por lo que itera hasta el infinito para alcanzar una solución.
 - d) El juego planteado permite hacer coaliciones, de forma que varias celdas cercanas se pueden agrupar con el objetivo de reducir las interferencias con el resto de celdas.
8. Para habilitar movilidad IP a un nodo móvil debo configurar el protocolo IP móvil:
- a) Únicamente en el nodo móvil.
 - b) En el nodo móvil y en el agente propio.
 - c) En el nodo móvil y en el agente extranjero.
 - d) En el nodo móvil, en el agente propio y en el agente extranjero.
9. Al utilizar *dynamics*, cuando el nodo móvil está en una red visitada:
- a) La herramienta `dynmn_tool` indica que el nodo móvil tiene como dirección de custodia la dirección IP del agente extranjero.
 - b) La herramienta `dynmn_tool` indica que el túnel está activo.
 - c) La última respuesta recibida es “0 – registration accepted”.
 - d) Todas las respuestas anteriores son correctas.
10. En IP móvil, la dirección de custodia (CoA) se asigna cuando:
- a) El nodo móvil se registra en la red del agente propio.
 - b) El nodo móvil se registra en la red del agente extranjero.
 - c) El nodo móvil notifica al agente propio que se va a mover a la red del agente extranjero.
 - d) Ninguna de las anteriores.



Universidad de Granada
Departamento de Teoría de la Señal,
Telemática y Comunicaciones



ETSIT
C/ Periodista Daniel Sancedo Aranda, s/n
18071 - Granada
Tf: 958 240840 - Fax: 958 240831

REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

– 3^{er} curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación –
Convocatoria de Junio de 2013

Apellidos y nombre: _____

Examen de teoría (6 puntos de 10)

1. (2 ptos.) Considere un sistema de comunicaciones móviles GSM en la banda de 1800 MHz con un despliegue regular utilizando celdas hexagonales.
- a) Calcule el factor de reuso K mínimo en dicho sistema si se requiere una calidad superior a $MOS = 3.5$ (códec EFR) en el borde de la celda. Suponga que la propagación sigue el modelo simplificado con un exponente de pérdidas de propagación $\gamma=3.5$ y una distancia de referencia $d_0 = 5$ m; la constante K del modelo de propagación se supone igual a la del modelo de espacio libre.

$$MOS = 3.5 \rightarrow SIR_{\text{requerida}} (\text{dB}) \approx 7.5 \text{ dB} \rightarrow SIR_{\text{requerida}} = 10^{7.5/10} = 5.62 \text{ (unidades lineales)}$$

Utilizando la expresión simplificada

$$SIR \approx \frac{1}{\left[\left(\frac{D}{R} - 1 \right)^{-n} + \left(\frac{D}{R} + 1 \right)^{-n} + 4 \left(\frac{D}{R} \right)^{-n} \right]} = \frac{1}{\left[(\sqrt{3K} - 1)^{-n} + (\sqrt{3K} + 1)^{-n} + 4(\sqrt{3K})^{-n} \right]}$$

se pueden probar los valores obtenidos para diferentes factores de reuso. Hay que recordar que K no puede tomar cualquier valor, sino que debe cumplir la expresión $K = i^2 + j^2 + i*j$, $i=0,1,2\dots$ $j=0,1,2\dots$. Así, valores posibles de K serían 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, ...

Probando algunos valores: $K=1 \rightarrow SIR = 0.28$; $K=2 \rightarrow SIR = 2.18$; $K=3 \rightarrow SIR = 5.50$; $K=4 \rightarrow SIR = 10.04$

Por tanto, el factor de reuso mínimo sería $K = 4$, que es el primero que supera la SIR requerida.

- b) Suponga que se dispone de 21 portadoras para todo el sistema GSM. Por simplicidad, considere que todos los canales disponibles se utilizan para tráfico (no considere los canales que se reservarían para señalización común). Suponiendo una densidad de carga de tráfico de 1 Erlang / km², calcule el radio de la celda para que la probabilidad de bloqueo sea inferior al 1%.

21 portadoras / 4 celdas por clúster = 5.25 portadoras por celda de media; como en GSM cada portadora puede transportar 8 canales lógicos (en este caso dedicado a tráfico), tenemos un total de $5.25 * 8 = 42$ canales de tráfico por celda.

Según la curva de Erlang B, con 42 canales se pueden soportar aprox. 30.7 Erlangs con una probabilidad de bloqueo del 1%. Esto significa que el área debe ser aprox. 30.7 Erlangs / 1 Erlang por km² = 30.7 km². Como se suponen antenas omnidireccionales y por tanto áreas de cobertura circulares, el área será $\text{área}_{\text{celda}} = \pi * r^2$, de donde se puede obtener el radio de la celda $r = \sqrt{\text{área}_{\text{celda}} / \pi} = 3.13$ km.

- c) Suponiendo que se mantiene el factor de reuso K , ¿qué ocurriría, en términos de capacidad del sistema y calidad de los enlaces, si aumenta el radio de las celdas? ¿Y si se reduce? Razone su respuesta.

Si se mantiene el factor de reuso K , significa que se mantiene la relación D/R. Por tanto, la calidad de los enlaces (SIR en el borde de la celda) se mantiene, independientemente de que se aumente o se reduzca el radio de la celda.

Respecto a la capacidad, viendo los apartados anteriores queda claro que reducir el radio implica aumentar la capacidad del sistema (se pueden cursar más llamadas para una probabilidad de bloqueo dada), si bien es a cambio de aumentar el número de estaciones base. Si se aumenta el radio, se reduce la capacidad del sistema (se soportan menos llamadas para una probabilidad de bloqueo dada o, si el número de llamadas se mantiene, aumenta la probabilidad de bloqueo).

NOTA: Responda razonadamente cada pregunta, incluyendo las fórmulas y cálculos que sean necesarios.

- d) Encuentre la probabilidad de corte (falta de cobertura) en el borde de la celda, suponiendo que la potencia de transmisión de la estación base es de 46 dBm, la sensibilidad típica de un móvil es de -102 dBm, y un *shadowing* con distribución log-normal y varianza $\sigma_{\psi}^2 = 10$.

La potencia de transmisión de la estación base es $P_t = 10^{(46/10)} = 39810 \text{ mW} \approx 40 \text{ W}$. La potencia mínima que debe recibir un móvil típico es $P_{min} = 10^{(-102/10)} = 6.31 \text{e-11 mW}$.

Utilizando la fórmula de la probabilidad de corte

$$p_{outage} = p(P_r(d) < P_{min}) = 1 - Q\left(\frac{P_{min} - (P_t + K \text{ dB} + 10\gamma \log_{10}(d_0/d))}{\sigma_{\psi} \text{ dB}}\right)$$

$$K \text{ dB} = 20 \log_{10} \frac{\lambda}{4\pi d_0}$$

La constante K del modelo de propagación se calcula como la de espacio libre, o sea $\lambda=c/f=3e8/1800e6 = 0.1666$, por lo que $K \text{ dB} = 20 \log_{10}(0.1666 / 4\pi \cdot 5) = -51.53 \text{ dB}$.

Con estos datos tendríamos que $P_{outage} = 1 - Q((-102 - (46 + K \text{ dB} + 10\gamma \log_{10}(5/3130))) / \sqrt{10}) = 1 - Q(0.4459) = 0.6722 \rightarrow$ la probabilidad de corte es del 67% aproximadamente.

$d_0=5; K=20 \log_{10}(0.1666/(4\pi \cdot 5)), x=(-102-(46+K+10\gamma \log_{10}(5/3130)))/\sqrt{10}), 1-qfunc(x)$

- e) Calcule el porcentaje del área de la celda que tiene cobertura suponiendo el *shadowing* ya indicado.

$P_{min} = -102 \text{ dBm}$

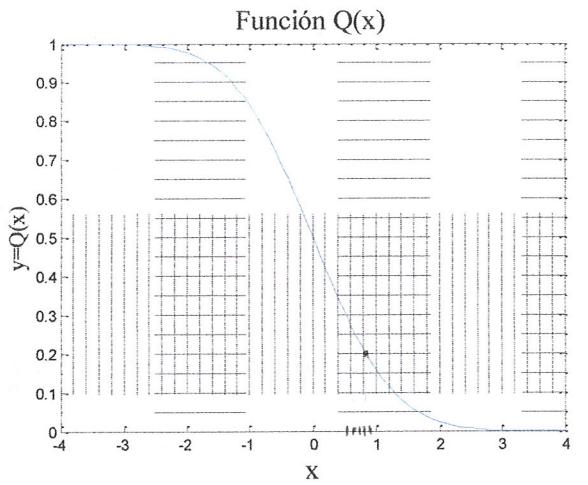
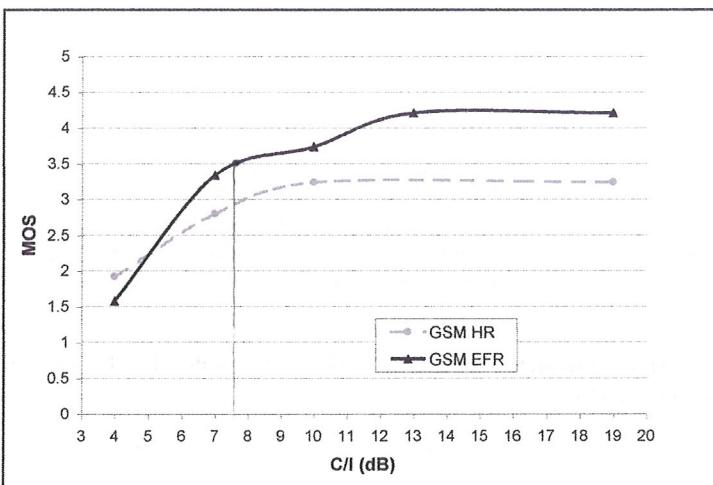
$P_{media_recibida_borde_celda} = P_t + K \text{ dB} + 10\gamma \log_{10}(d_0/d) = 46 \text{ dBm} - 51.53 \text{ dB} + 10\gamma \log_{10}(5/3130) = -103.41 \text{ dBm}$

$$a = \frac{P_{min} - \bar{P}_r(R)}{\sigma_{\psi} \text{ dB}} = (-102 - (-103.41)) / \sqrt{10} = 0.4459$$

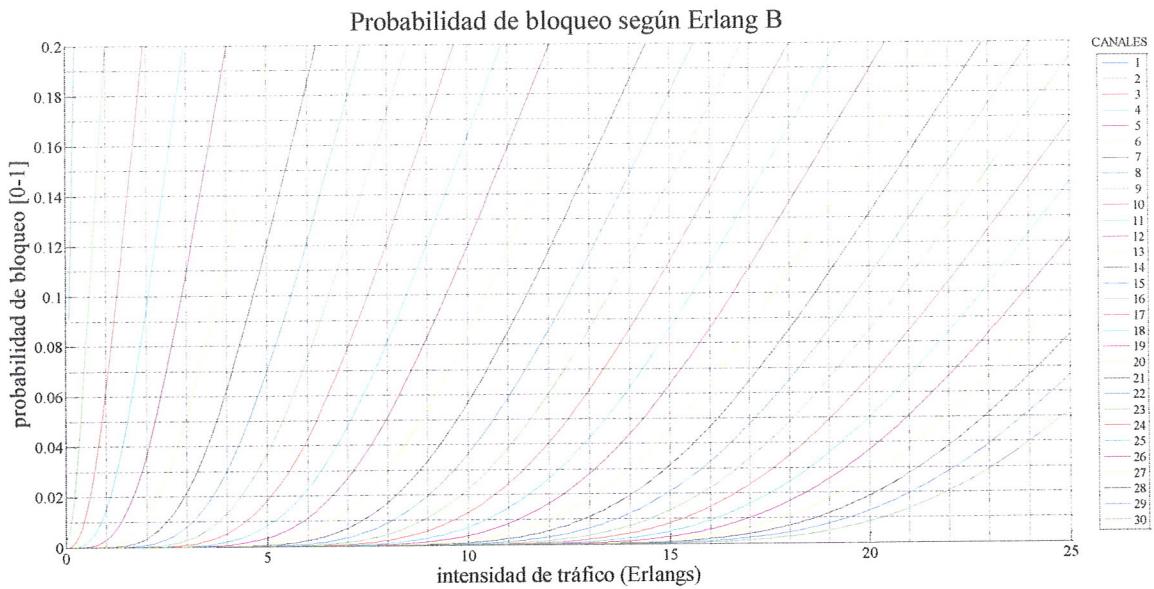
$$b = \frac{10\gamma \log_{10}(e)}{\sigma_{\psi} \text{ dB}} = 10\gamma \log_{10}(e) / \sqrt{10} = 4.8068$$

$$C = \frac{2}{R^2} \int_0^R r Q\left(a + b \ln \frac{r}{R}\right) dr = Q(a) + \exp\left[\frac{2 - 2ab}{b^2}\right] Q\left(\frac{2 - ab}{b}\right)$$

$= Q(0.4459) + \exp((2 - 2 \cdot 0.4459 \cdot 4.81) / 4.81^2) * Q((2 - 0.4459 \cdot 4.81) / 4.81) = 0.79 \rightarrow$ el 79% del área de la celda tiene cobertura.



NOTA: Responda razonadamente cada pregunta, incluyendo las fórmulas y cálculos que sean necesarios.



```
A=1:50; N=30; for n=1:N, for a=1:length(A), aux=0; for i=0:n, aux=aux+(A(a)^i)/factorial(i); end; Pb(n,a)=((A(a)^n)/(factorial(n))) / aux; end, end;
figure; hold on; grid on; plot(A, Pb); xlabel('intensidad de tráfico (Erlangs)'); ylabel ('probabilidad de bloqueo [0-1]'); title('Probabilidad de bloqueo según Erlang B'); legend(num2str([1:N])); axis([0 25 0 0.1]);
```

2. (1.5 ptos.) Calcule la velocidad real de sistema de una red IEEE 802.11b con 10 estaciones activas y sin utilizar RTS/CTS. Los parámetros de 802.11b son los siguientes: slot time = 20 μ s, SIFS = 10 μ s, CWmin = 16, CWmax = 1024. Además, los paquetes de datos (niveles superiores) son de 1500 bytes, la cabecera PHY es de 128 bits, la cabecera MAC es de 272 bits, las tramas ACK son de 240 bits, las tramas RTS de 288 bits y las tramas CTS de 240 bits. Las tramas ACK se envían a una tasa básica (basic rate) de 1 Mbps, mientras que las tramas de datos se envían a 11 Mbps (data rate).

Solución: 6.73 Mbps (se realiza igual que el ejemplo que hay en las transparencias del tema 2)

3. (1 ptos.) Dibuje un escenario típico con los diferentes elementos de IP móvil, indicando sus nombres y dando una descripción de dichos elementos.

- Dé un rango de direcciones IP a la red propia y otro rango a la red extranjera, y asigne direcciones a cada equipo.
- Indique el contenido de las tablas existentes en el HA y en el FA.
- Sobre la figura que ha dibujado, indique cuál sería la ruta triangular. ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene dicha ruta? ¿Cómo se pueden resolver sus inconvenientes?

Solución: visto en el tema 2, únicamente cambiando las direcciones IP en caso necesario.

4. (1.5 ptos.) Responda breve pero razonadamente las siguientes cuestiones:

- ¿Qué procedimientos se utilizan para la gestión de localización en GSM? ¿Cuáles son sus objetivos?
- Dibuje la arquitectura de GPRS e indique cuáles son las principales funcionalidades del SGSN y del GGSN.
- ¿Por qué aparece el estándar IEEE 802.16, cuando ya existía la tecnología LMDS? ¿Cuáles son las diferencias fundamentales entre IEEE 802.16 y WiMAX? ¿Cuáles son las bandas especificadas para WiMAX fijo?
- Indique cómo funcionan los modos de acceso al medio DCF y PCF, así como el significado de sus siglas. ¿Qué novedades incorpora HCCA respecto a PCF?
- Explique la detección de portadora virtual (*virtual carrier sensing*) y cómo se emplea el vector de asignación de red (NAV, *network allocation vector*).

Solución: teoría de los diferentes temas (respuestas en transparencias)

NOTA: Responda razonadamente cada pregunta, incluyendo las fórmulas y cálculos que sean necesarios.



REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

EXAMEN JUNIO 2013

① GSM en banda 1800 MHz → despliegue regular celdas hexagonales.

a) dK mínimo? $Mos = 3/5$; Propagación modelo simplificado; $\gamma = 3/5$; $d_0 = 5 \text{ m}$
 $K = \text{free space}$

Según la gráfica para un $Mos = 3/5 \Rightarrow SIR = 2/5 \text{ dB}$

Sabemos que SIR es para celdas hexagonales:

$$SIR = \frac{1}{(\sqrt{3}K - 1)^{-\gamma} + (\sqrt{3}K + 1)^{-\gamma} + 4(\sqrt{3}K)^{-\gamma}} \Rightarrow$$

Probaremos iterando:

$K = i^2 + j^2 + ij, i, j = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$
$K = 4 \Rightarrow i=2, j=0 \Rightarrow 7.5 \text{ dB} < 10 \text{ dB } \checkmark$
$K = 3 \Rightarrow i=1, j=2 \Rightarrow 7.5 \text{ dB} < 5/5 \text{ dB } X$

b) $N = 24$ portadoras, canales → tráfico. Densidad carga = 1 Erlang / km^2
dR para $P_B < 1\%$?

Hallamos el número de frecuencias por celda: $n_f = \frac{N}{K} = \frac{24}{4} = 5/25$ frecuencias.

En GSM hay $8 \frac{\text{canales tráfico}}{\text{celda}} 5/25 f + 8 \frac{\text{canales}}{\text{celda}} = \frac{42 \text{ canales}}{\text{celda}}$

Tenemos que hallar la intensidad de tráfico para hallar el área del cluster.

$$P_B = 0.01 \Rightarrow 0.01 > \frac{A^{N_{ch}} / N_{ch}!}{\sum_{n=0}^{N_{ch}} A^n / n!} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0.01 > \frac{A^{42} / 42!}{\sum_{n=0}^{42} A^n / n!} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Probaremos con valores de } A: \\ - A = 30 \Rightarrow 0.01 > 0.007 \checkmark \\ - A = 40 \Rightarrow 0.01 > 0.08 X \\ - A = 31 \Rightarrow 0.01 > 0.0108 X \\ - A = 30.7 \Rightarrow 0.01 > 0.00973 \checkmark \end{array} \right.$$

Por tanto hallamos el área:

$$A'_{\text{rea}} = \frac{30.7 \text{ Erlangs}}{1 \text{ Erlangs/km}^2} = 30.7 \text{ km}^2$$

$$A'_{\text{rea hexagonal}} = \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 \Rightarrow R = \sqrt{\frac{2A}{3\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30.7 \text{ km}}{3\sqrt{3}}} \approx 3143 \text{ km}$$

c) ¿Qué ocurriría con la capacidad y calidad si $\alpha \uparrow$ y si $\alpha \downarrow$?

Si se mantiene el factor de reuso K , significa que se mantiene la relación α/γ .

Por tanto, la calidad de los enlaces (si están dentro de la celda) se mantiene, independientemente de que se aumente o reduzca el radio de la celda.

Respecto a la capacidad, reducir el radio implica aumentar la capacidad del sistema (+ llamadas para una PB dada). Si aumenta el radio, se reduce la capacidad del sistema (- llamadas soportadas para una PB dada).

d) ¿Probabilidad de corte? $P_t = 46 \text{ dBm}$, $P_{\min} = -102 \text{ dBm}$ y $\sigma_{\gamma}^2 \text{ dB} = 16$

Sabemos que la probabilidad de corte es:

$$\text{Poutage} = 1 - Q \left(\frac{P_{\min} - (P_t + K \text{ dB} + 10 \lg_{10} \left(\frac{d_o}{d} \right))}{\sigma_{\gamma} \text{ dB}} \right)$$

$$\text{donde: } K \text{ dB} = 20 \lg_{10} \frac{\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1800 \cdot 16^6 \text{ Hz}}}{4 \pi \cdot S_m} = 20 \lg \left(\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1800 \cdot 16^6 \text{ Hz} \cdot 4 \pi \cdot S_m} \right) = -51.52 \text{ dB}$$

$$\gamma = 31.5; \quad d = R = 3143 \text{ Km} = 3430 \text{ m}; \quad \sigma_{\gamma} = \sqrt{\sigma_{\gamma}^2} = \sqrt{16} \text{ dB}$$

Luego:

$$\text{Poutage} = 1 - Q \left(\frac{-102 \text{ dBm} - (46 \text{ dBm} + (-51.52 \text{ dB}) + 10 \cdot 31.5 \lg_{10} \left(\frac{S_m}{3430 \text{ m}} \right))}{\sqrt{16} \text{ dB}} \right)$$

$$\text{Poutage} = 1 - Q(0.188) = \left\{ \text{Gráfica } Q(x) \right\} = 1 - 0.122 = 0.178 \Rightarrow \boxed{\text{Poutage} = 78\%}$$

e) $C \text{ vs. P}$

$$\text{Sabemos que } C = Q(a) + e^{\left(\frac{2-a}{b^2} \right)} \cdot Q\left(\frac{2-2ab}{b} \right)$$

$$R(P) = P_t + K \text{ dB} + 10 \gamma \lg \left(\frac{d_o}{d} \right) = 46 \text{ dBm} - 51.52 \text{ dB} + 10 \cdot 31.5 \lg_{10} \left(\frac{S_m}{3430} \right) = -104.179 \text{ dBm}$$

$$b = \frac{10 \gamma \lg_{10}(e)}{\sigma_{\gamma} \text{ dB}} = \frac{10 \cdot 31.5 \lg_{10}(e)}{\sqrt{16}} = 41.8$$

$$a = \frac{P_{\min} - \overline{R(P)}}{\sigma_{\gamma} \text{ dB}} = \frac{-102 \text{ dBm} - (-104.179 \text{ dBm})}{\sqrt{16}} = 0.1882$$

$$C = Q(0.1882) + 0.178 \cdot Q(-1134.7) = 0.122 + 0.178 \cdot 0.19 = 0.1895 \Rightarrow \boxed{C = 89.15 \text{ Mb}}$$

② ¿Velocidad real? IEEE 802.11b con n = 10 estaciones activas sin RTS/CTS
Datos en el enunciado.

Nos piden el [Throughput efectivo = S · data rate]

Sabemos que: $S = \frac{P_s P_{tr} \cdot P}{(1 - P_{tr}) \sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c}$

Antes de nada calculamos σ y P intercambiando para los valores de P :

$$P = 1 - (1 - \gamma)^{n-1}$$

$$\gamma = \frac{2}{1 + W + W \sum_{i=0}^{m-1} (2P)^i}$$

$$\gamma = \frac{2}{1 + 16 + 16 \cdot P \sum_{i=0}^3 (2P)^i}$$

$$C_{W\max} = 2^m \cdot W = \sqrt[m]{m} = \lg_2 \left(\frac{C_{W\max}}{W} \right) = 6$$

$$\begin{cases} P = 0.12 \Rightarrow \gamma = 0.089 \Rightarrow P = 1 - (1 - 0.089)^4 = 0.132 \sim \\ P = 0.125 \Rightarrow \gamma = 0.0804 \Rightarrow P = 0.128 \sim 0.12 \sim 0.125 \checkmark \\ P = 0.126 \Rightarrow \gamma = 0.078 \Rightarrow P = 0.1278 \sim \\ P = 0.127 \Rightarrow \boxed{\gamma = 0.076 \Rightarrow P = 0.1272} \checkmark \end{cases}$$

Calculamos P_s y P_{tr} :

$$P_{tr} = 1 - (1 - \gamma)^n = 1 - (1 - 0.076)^5 = \boxed{0.1326 = P_{tr}}$$

$$P_s = \frac{n \gamma (1 - \gamma)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{5 \cdot 0.076 (1 - 0.076)^4}{0.1326} = \boxed{0.1849 = P_s}$$

$$P = 1500 \text{ bytes} \cdot \frac{8 \text{ bits}}{\text{bytes}} = 12000 \text{ bits} ; \sigma = 20 \mu s ; H = \text{MAC} + \text{PHY} ;$$

$$; \text{DIFS} = \text{SIFS} + \gamma \cdot \sigma \sim 10 \mu s + 2 \cdot 20 \mu s = 50 \mu s ; \delta \approx 0$$

Hallamos T_s^{bus} y T_c^{bus} :

$$T_s^{\text{bus}} = H + P + \text{SIFS} + \delta + \text{ACK} + \text{DIFS} + \delta = \frac{128 \text{ bits} + 272 \text{ bits}}{11 \cdot 10^6 \text{ bps}} + \frac{12000 \text{ bits}}{11 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 10 \mu s + \frac{240 \text{ bits}}{1 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 50 \mu s = \boxed{T_s^{\text{bus}} = 1142 \text{ ms}}$$

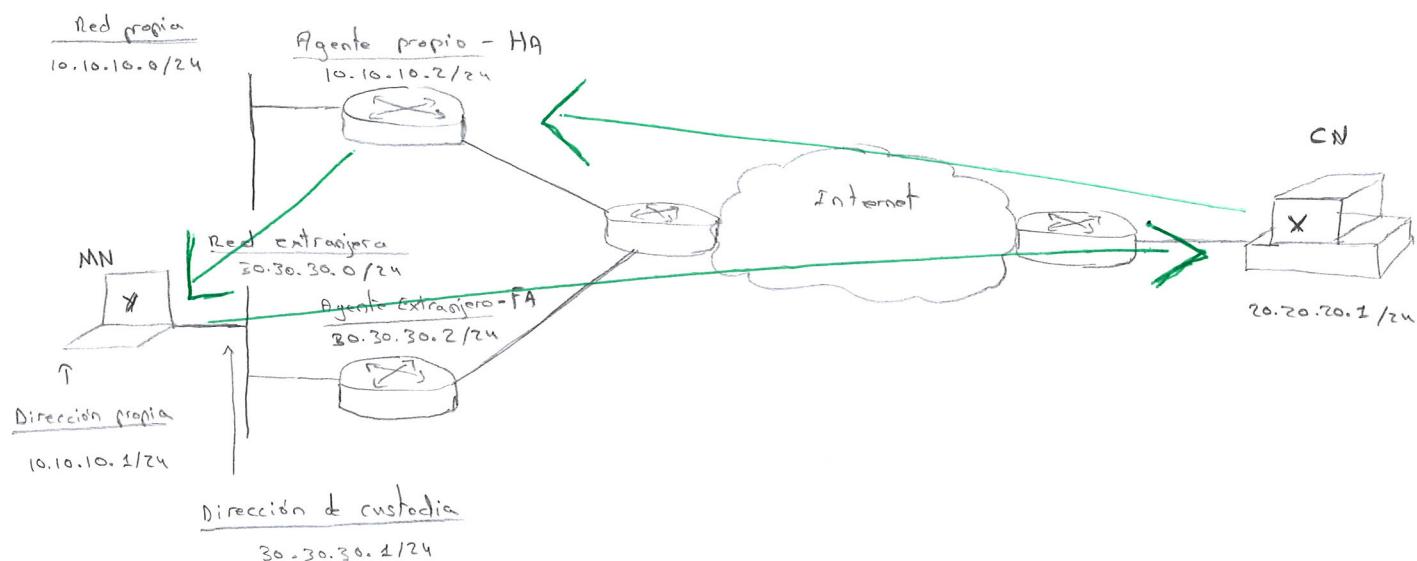
$$T_c^{\text{bus}} = H + P + \text{DIFS} + \delta = \frac{128 + 272 \text{ bits}}{11 \cdot 10^6 \text{ bps}} + \frac{12000 \text{ bits}}{11 \cdot 10^6 \text{ bps}} + 50 \mu s = \boxed{1117 \text{ ms}}$$

Luego: $S = \frac{0.1849 \cdot 0.1326 \cdot \frac{12000 \text{ bits}}{11 \cdot 10^6 \text{ bps}}}{(1 - 0.1326) \cdot 20 \mu s + 0.1326 \cdot 0.1849 \cdot 1142 \text{ ms} + 0.1326 (1 - 0.1849) \cdot 1117 \text{ ms}}$
 $\Rightarrow \boxed{S = 0.167}$

La velocidad real será: $\boxed{\text{Throughput} = S \cdot \text{data rate} = 0.167 \cdot 11 \text{ Mbps} \sim 7137 \text{ Mbps}}$

③ Escenario elementos IP móvil con nombres y descripción elementos.

a) Dar rango de direcciones a HA y otra a FA y asignar direcciones /equipo.



b) Tablas HA y FA:

HA	
MN	CoA
10.10.10.1/24	30.30.30.1/24

FA	
MN	HA
10.10.10.1/24	10.10.10.2/24

c) ¿dónde triangulación? ¿ventajas e inconvenientes? ¿solución inconvenientes?

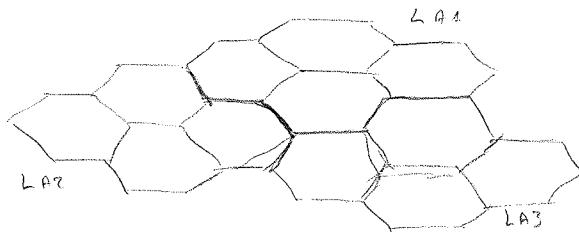
Sus ventajas es que pueden comunicarse directamente el nodo móvil con el nodo correspondiente, la ubicación del host del móvil solo necesitan saberlo el HA y el FA, los routers y host móviles necesitan nuevo software, es escalable y MN siempre está disponible en la misma dir. IP.

Sus inconvenientes son la sobrecarga y el retardo que se produce

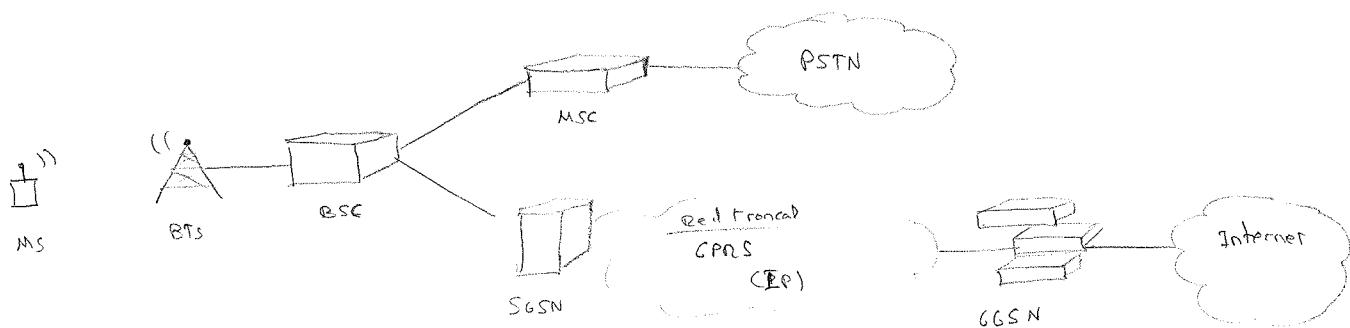
④ a) ¿Procedimientos para la gestión de localización en GSM? ¿Objetivos?

Los procedimientos básicos que se utilizan son:

- Location update: mecanismo para localizar usuarios de forma periódica y por movilidad.
- Paging: mecanismo para localizar usuarios buscando en todas las celdas del área de localización donde el móvil se encuentra.



b) Estructura GPRS - & Funcionalidad SGSN y GGSN?



- El SGSN controla la gestión de movilidad utilizando el protocolo GMM con cuyos procedimientos básicos son los de conexión, desconexión, seguridad, seguimiento de la localización y paging.
- El GGSN le asigna una dirección IP al móvil para que sea visible desde la red IP elegida. Este también indica qué operador pertenece el móvil. Es entre el GSN y la red externa por donde se establece el contexto PDP y entre el SGSN y el GGSN por donde se encapsula la información de usuario en un tráfico GTP.

c) ¿Por qué aparece el estándar IEEE 802.16 cuando ya existía LMDS?

LMDS apareció porque el ancho de banda de MMDS no era suficiente para celdas de 50x50m. LMDS introdujo un ancho de banda entre 20 y 30 GHz pero la alta velocidad restaba de visibilidad directa y había falta de interoperabilidad entre equipos. Por ello aparece IEEE 802.16 con conectividad LOS, topología punto a multípunto y $B = 10-66$ GHz.

¿ Diferencias entre IEEE 802.11 y WiMax?

Las principales diferencias son que IEEE 802.11 no especifica la capa de red ni la arquitectura del sistema, además de no garantizar la interoperabilidad entre equipos, mientras que WiMax si.

¿ Bandas para WiMax fijo? 2.3, 2.5, 3.5 GHz ...

d) Modos DCF y PCF.

DCF (Distributed coordination function): mecanismo basado en contención con transmisión asíncrona. Las estaciones compiten por un canal y permite compartir el medio entre ellas y el punto de acceso usando CSMA/CA.

PCF (Point coordination function): permite soportar servicios con requisitos estrictos de tiempo.

Existe un punto coordinador (PC) y permite transmisión sincrónica sin optimizar el ancho de banda. Define el periodo libre de contención (CFP) y con contención (CP).

¿ Novedades HCCA respecto PCF?

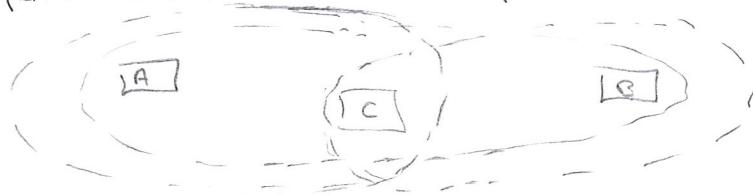
Mejora PCF utilizando en ambos períodos CP y CFP.

PCF solo puede consultar a una STA durante CFP mientras que HC puede hacerlo durante CFP y CP.

El HC le indica a la STA la duración máxima.

e) Detección de portadora y utilización de NAV.

La detección de portadora virtual se utiliza en el problema de la estación oculta. Suponiendo:



A y B no saben de su existencia. A envía un RTS a C. Todas las STAs que reciban un RTS en el área de A deben esperar. C envía un CTS a A. Todas las demás STAs que no sean A al recibir CTS deben esperar. En caso de colisión se hace backoff.

Cuando A recibe CTS ya puede mandar los datos a C.

NAV se utiliza aquí para que las STAs sepan que no deben acceder al medio en un tiempo. Si $NAV > 0$, medio ocupado -> detección de portadora virtual ⑥. Si $NAV = 0$, STA puede retransmitir.



REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

– 3^{er} curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación –
Convocatoria de Junio de 2013

Apellidos y nombre: _____
Profesor: _____

Examen de prácticas (1.25 puntos sobre 10)

Todas las preguntas puntuán 0.125 puntos. Cada pregunta tipo test incorrecta resta 1/3 de su puntuación. Las preguntas sin contestar no restan nota.

1. Indique cuál de las siguientes afirmaciones es cierta en relación con las redes Wi-Fi ó IEEE 802.11:
 - a) La banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) en 2.4 GHz está compuesta por canales que no se solapan.
 - b) La banda U-NII (*Unlicensed Networking Infrastructure*) en 5 GHz está compuesta por canales que no se solapan.
 - c) La variante IEEE 802.11n requiere que los dispositivos soporten tanto la banda de 2.4 GHz como la de 5 GHz.
 - d) Las variantes clásicas (802.11a/b/g) utilizan canales con un ancho de banda de 10 MHz.

2. A la hora de crear un punto de acceso Wi-Fi en Linux en un equipo como los usados en el laboratorio, indique qué afirmación es cierta:
 - a) Las capacidades de la tarjeta inalámbrica se pueden comprobar mediante el comando `iw list`.
 - b) El fichero de configuración del punto de acceso se encuentra en `/etc/init.d/hostapd`. → ~~el hostapd config~~
 - c) El siguiente fichero de configuración sería una configuración mínima válida:

```
interface=wifi
driver=n180211
ssid=test
channel=44 > en g no está el canal 44
hw_mode=g
max_num_sta=255
```
 - d) El servicio hostapd incluye por defecto un servidor DHCP para que asigne automáticamente las direcciones IP a las estaciones móviles. → Se tiene que instalar

3. Para monitorizar redes Wi-Fi y poder ver las tramas enviadas a nivel MAC:
 - a) Se puede utilizar cualquier tarjeta tanto en Linux como en Windows.
 - b) Se utiliza el interfaz inalámbrico por defecto (e.g. el interfaz `wifi` en el caso de los equipos del laboratorio).
 - c) Se debe crear un interfaz nuevo de tipo monitor (e.g. `mon0`), mientras que el interfaz por defecto (e.g. `wifi`) sigue funcionando normalmente.
 - d) Sólo es posible realizarlo con tarjetas muy específicas y orientadas a la investigación.

4. Indique qué lista de valores sería válida para el tamaño de un cluster en un despliegue celular con celdas hexagonales regulares:
 - a) $k = 1, 3, 5, 9, 12, \dots$
 - b) $k = 1, 3, 4, 7, 9, 12, \dots$
 - c) $k = 2, 4, 8, 12, 16, \dots$
 - d) $k = 1, 2, 3, 7, 9, 12, \dots$

5. Indique qué afirmación es cierta en relación a un despliegue celular regular con celdas hexagonales limitado en interferencia:
 - a) Para un reuso dado, el tamaño de la celda no afecta a la capacidad del sistema.
 - b) Si se aumenta el tamaño del cluster, mejora la capacidad del sistema.
 - c) Para un reuso dado, el tamaño de la celda no afecta a la distribución de SIR.
 - d) En sistemas reales, el borde de la celda se suele definir como la zona con el 50 percentil de la relación SIR.

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3} K$$

6. Indique qué afirmación es cierta en relación al uso de teoría de juegos para realizar un despliegue celular, tal como se ha visto en la práctica realizada en el laboratorio:
- a) Los jugadores son las frecuencias, que deben elegir qué celdas las utilizan. → las estrategias son las frecuencias,
 - b) La estrategia seguida por los jugadores es la de, para una situación dada, maximizar su función de utilidad. En el caso visto en el laboratorio para realizar un despliegue celular, esta función de utilidad reflejaba la interferencia entre las celdas que utilizasen el mismo canal.
 - c) El juego planteado no tiene necesariamente un equilibrio estable, por lo que a veces no converge a una solución.
 - d) El juego planteado permite hacer coaliciones, de forma que varias celdas cercanas se pueden agrupar con el objetivo de reducir las interacciones con el resto de celdas.
7. Al utilizar *dynamics*, cuando el nodo móvil está en su red propia:
- a) La herramienta *dynmn_tool* indica que el nodo móvil no tiene dirección de custodia (*co-addr*).
 - b) La herramienta *dynmn_tool* indica que el túnel está activo.
 - c) La última respuesta recibida es “0 – registration accepted”.
 - d) El nodo móvil no tiene que realizar ninguna acción cuando está en su red propia.
8. Al utilizar *dynamics*, cuando el nodo móvil está en una red visitada:
- a) La herramienta *dynmn_tool* indica que el nodo móvil tiene como dirección de custodia la dirección IP del agente extranjero.
 - b) La herramienta *dynmn_tool* indica que el túnel está activo.
 - c) La última respuesta recibida es “0 – registration accepted”.
 - d) Todas las respuestas anteriores son correctas.
9. En los ficheros de configuración de *dynamics*, indique qué significa el parámetro SPI:
- a) Indica el tipo de autenticación a utilizar entre el nodo móvil y los agentes de movilidad.
 - b) Indica si se utiliza o no validación de los mensajes basada en los *timestamps*.
 - c) Es un índice que relaciona direcciones IP con los parámetros de seguridad a utilizar con dichos equipos.
 - d) Es el valor del intervalo de tiempo entre anuncios (*advertisements*) consecutivos.
10. Suponiendo un modelo simplificado de propagación, escriba las frecuencias utilizadas por cada celda en la siguiente figura si hay 9 frecuencias diferentes, el factor de reuso es $K = 9$ y el despliegue debe ser regular. Explique detalladamente cómo ha realizado dicha asignación.
-

Figura 1. Despliegue celular mediante celdas hexagonales.

$$\text{Si } K = 9 \Rightarrow \begin{cases} i = 0 \\ j = 3 \end{cases} \Rightarrow 0^2 + 3^2 + 0 = 9$$



Universidad de Granada
Departamento de Teoría de la Señal,
Telemática y Comunicaciones



ETSIIT
C/ Periodista Daniel Sancedo Aranda, s/n
18071 - Granada
Tf: 958 240840 - Fax: 958 240831

REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

– 3^{er} curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación –
Convocatoria de Septiembre de 2013

Apellidos y nombre: _____

Examen de teoría (6 puntos sobre 10)

NOTA: Responda razonadamente cada pregunta, incluyendo las fórmulas y cálculos que sean necesarios.

1. (1.5 ptos.) Considere un sistema radio móvil con una frecuencia de portadora de 900 MHz, con un ancho de banda de 30 KHz, que se ve afectado únicamente por ruido térmico (temperatura del ambiente $T_e = 300^{\circ}\text{K}$). Las ganancias de las antenas transmisoras y receptoras son de 8 y -2 dB respectivamente. La figura de ruido del receptor es de 5 dB y el ancho de banda 3 dB es de 30 KHz. La SNR requerida para un correcto funcionamiento es de 20 dB y el rango de cobertura deseado es de 3 Km. El punto de ruptura se encuentra a una distancia de 10 m. Más allá de ese punto, el exponente de las pérdidas por propagación es 3.8, y el margen de desvanecimiento es de 10 dB. ¿Cuál es la potencia mínima de transmisión?

2. (1.5 ptos.) Suponga que el medio inalámbrico está libre en el instante t_0 . En ese momento, tres estaciones quieren enviar dos tramas de datos respectivamente. La red utiliza la capa física de IEEE 802.11b, por lo que sus parámetros son: SIFS=10 μs , PIFS=30 μs , DIFS=50 μs , CWmin=15, CWmax=1023. Las estaciones pueden calcular un número aleatorio entre [0,1) mediante la función *rand()*, de forma que para calcular un número aleatorio entre 0 y X se utilizaría *rand()* * (X+1). A continuación se muestran los valores aleatorios que se obtendrían con la función *rand()* para cada estación después de t_0 :

- Estación 1: 0.03, 0.78, 0.37, 0.17, 0.99, ...
- Estación 2: 0.35, 0.15, 0.68, 0.06, 0.88, ...
- Estación 3: 0.22, 0.03, 0.28, 0.95, 0.77, ...

Represente temporalmente el intercambio de todas las tramas transmitidas para que las estaciones puedan enviar sus tramas exitosamente. Suponga que el tiempo de transmisión de una trama de datos es 400 μs y el de una trama ACK es 240 μs . En este caso no se utilizan tramas RTS/CTS ni fragmentación. ¿Ha habido colisiones? ¿Cuánto ha sido el tiempo total desde t_0 ?

3. (1.5 ptos.) Suponga el escenario de la figura. La red propia tiene la dirección 55.55.55.0/24, y la red extranjera tiene la dirección 13.13.13.0/24. Suponga que un nodo móvil perteneciente a la red propia se encuentra ahora en la red extranjera.

- a) Con estas restricciones, asigne direcciones IP a los diferentes equipos.
- b) Indique el contenido de las tablas existentes en el HA y en el FA.
- c) Para que el nodo móvil pueda funcionar correctamente, ¿qué protocolo se ha de ejecutar? ¿Qué equipos son los que han de incluir dicho protocolo?
- d) Describa las tramas intercambiadas necesarias y previas a la transmisión de datos desde el nodo correspondiente al nodo móvil. Indique las direcciones IP de origen y destino de dichas tramas.

- e) Describa un intercambio de tramas de datos entre el nodo corresponsal y el nodo móvil (e.g. una trama en cada sentido). Indique la ruta seguida por cada trama y las direcciones IP de origen y destino en cada tramo.

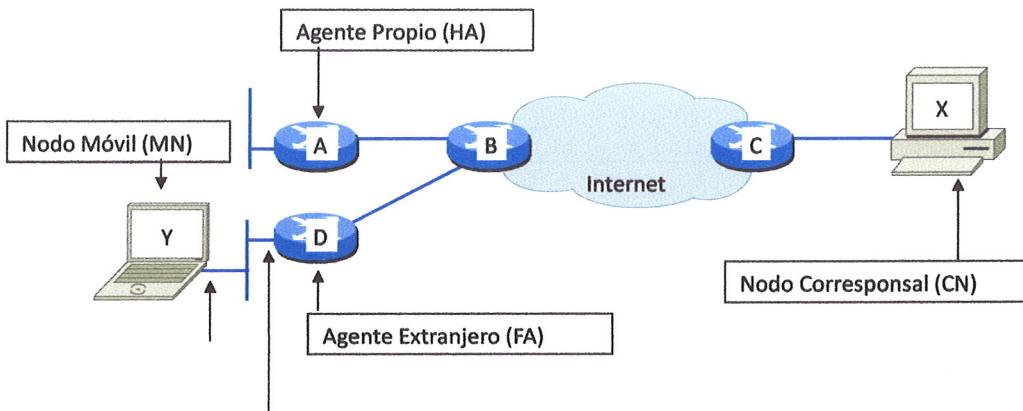


Figura 1. Escenario

4. (1.5 pts.) Responda breve pero razonadamente las siguientes cuestiones:

- Enumere los pasos para que una estación móvil cambie de un punto de acceso a otro. ¿Hay algún estándar que permita acortar el tiempo en realizar este proceso? En caso afirmativo, indique cuál.
- Indique las principales novedades de IEEE 802.11n respecto al estándar original. ¿Cuál es la velocidad máxima teórica? En la práctica, ¿es alcanzable dicha velocidad? Indique por qué.
- ¿En qué variante de DVB se basó el estándar para MMDS? ¿Y para LMDS? ¿Por qué?
- Defina un canal físico y un canal lógico en GSM. ¿Cuáles son los canales lógicos empleados en GSM? Describalos brevemente.
- Explique cuál es el objetivo del control de potencia en GSM cuando lo realiza la estación base. ¿Cuál es el objetivo cuando lo realiza el móvil?
- Dibuje la arquitectura de GPRS e indique cuáles son las principales funcionalidades del SGSN y del GGSN.

REDES INALÁMBRICAS Y MONTEJOAD

EXAMEN SEPTIEMBRE 2015

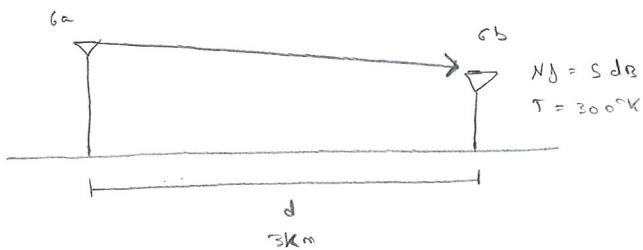
- ④ Sistema radio móvil $f_c = 900 \text{ MHz}$, $B = 30 \text{ kHz}$, $T_e = 300^\circ \text{K}$

$G_a = 8 \text{ dB}$, $G_b = -2 \text{ dB}$, $N_f = 5 \text{ dB}$, ancho banda 3 dB de 30 kHz .

$\text{SNR} = 20 \text{ dB}$, $d = 3 \text{ km}$, $d_0 = 10 \text{ m} \rightarrow \gamma = 3.8$, desvanecimiento $\approx 10 \text{ dB}$.

¿ P_{\min} transmisión?

Consideraremos un modelo de dos rayos y una propagación free-space por ser radio móvil



En primer lugar hallaremos la potencia total del ruido:

$$N_0 = K_B \cdot T_e = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{julios}}{\text{Hz}} \cdot 300^\circ \text{K} = 4.14 \cdot 10^{-21} \text{ julios} = -203.83 \text{ dB}_{\text{Hz}}$$

$$R_{T_{\text{ext}}} \text{dB} = (N_0 + E_w) \text{dB} = (-203.83 \text{ dB}_{\text{Hz}} + 10 \lg_{10}(30 \cdot 10^3 \text{ Hz})) = \boxed{-159.05 \text{ dB}} \rightarrow \text{Ruido externo}$$

El ruido térmico interno será: $R_{T_{\text{int}}} = R_{T_{\text{ext}}} \text{dB} + N_f \text{dB} = -159.05 \text{ dB} + 5 \text{ dB} = -154.05 \text{ dB}$

Sabemos que $P_a \cdot \text{SNR dB} = P_r (\text{dB}) - R_{T_{\text{int}}} \text{dB} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{P_r (\text{dB}) = \text{SNR} + R_{T_{\text{int}}} = 20 \text{ dB} + (-154.05 \text{ dB}) = -134.05 \text{ dB}}$$

Calcularemos ahora las pérdidas por propagación. Suponemos free-space y modelo simplificado

$$K = 20 \lg_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right) = 20 \lg_{10} \left(\frac{\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{900 \cdot 10^6 \text{ Hz}}}{4\pi \cdot 10 \text{ m}} \right) = -51.52 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} \text{Luego } (-P_L \text{ dB}) &= K \text{ dB} + 10 \gamma \lg_{10} \left(\frac{d_0}{d} \right) = -51.52 \text{ dB} + 10 \cdot 3.8 \cdot \lg_{10} \left(\frac{10 \text{ m}}{3000 \text{ m}} \right) \Rightarrow \\ &= \boxed{+145.65 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Por tanto la potencia mínima transmitida será:

$$P_{t_{\min}} = P_r - G_b + P_L - G_a + M.O = -134.05 \text{ dB} - (-2 \text{ dB}) + 145.65 \text{ dB} - 8 \text{ dB} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{P_{t_{\min}} = 5.6 \text{ dB} \approx 3163 \text{ W}}$$

② $t_0 \rightarrow$ colisión tres estaciones

$$SIFS = 10\mu s$$

$$CW_{min} = 16$$

$$PIFS = 30\mu s$$

$$CW_{max} = 1024$$

$$DIFS = 50\mu s$$

$$SIFS = SIFS + 20\mu s$$

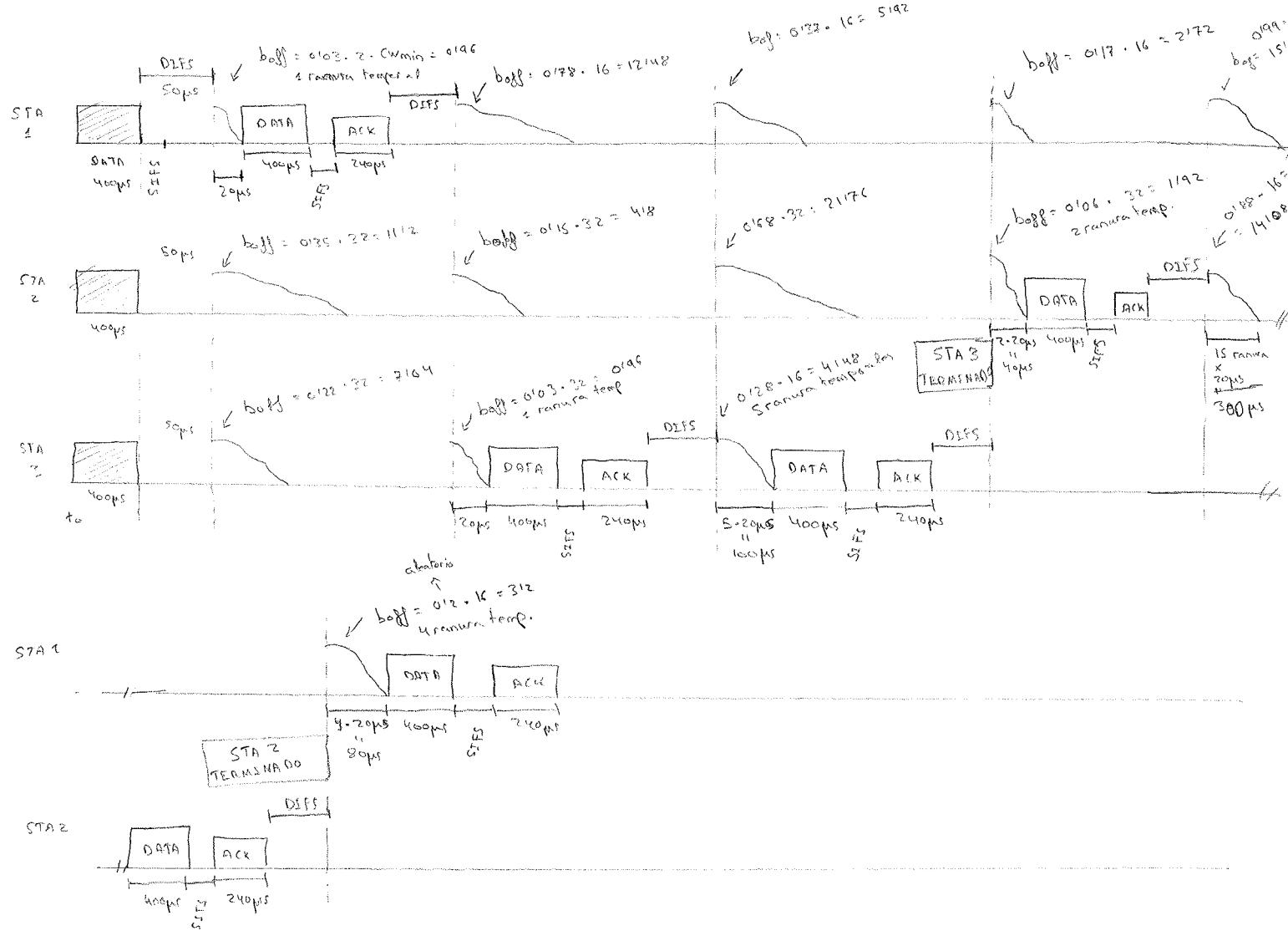
Valores aleatorios en enunciado.

SIN RTS/CTS

$$\text{duration loops} = t_{data}$$

$$240\mu s = t_{data}$$

Representar temporalmente intercambio frames:

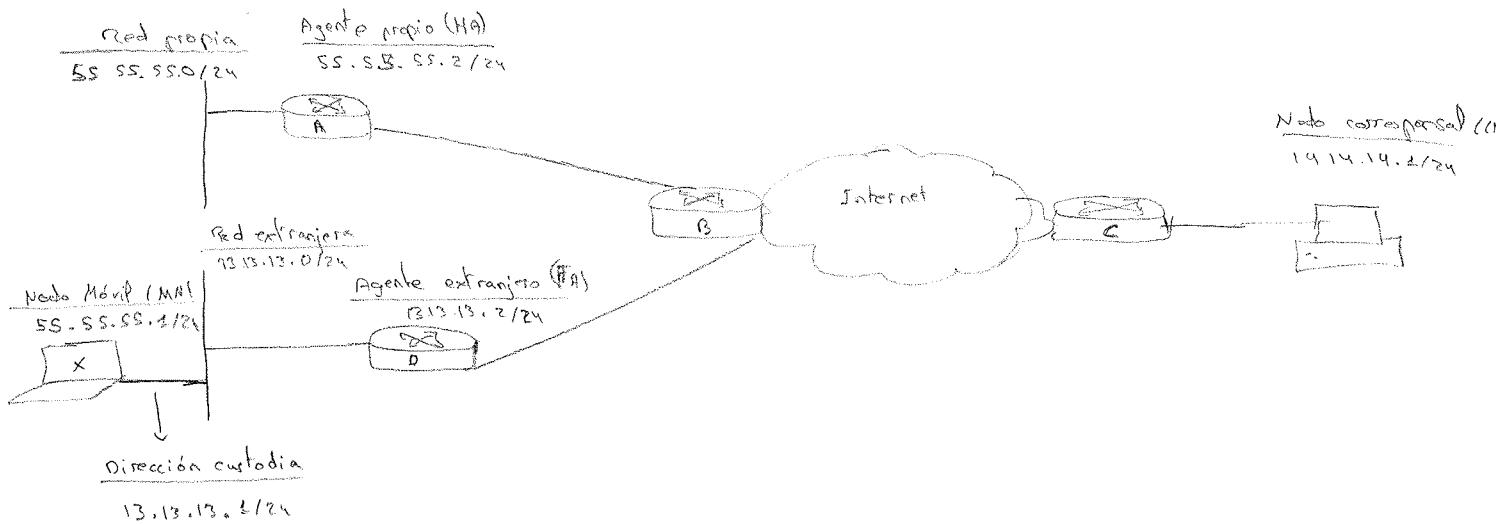


Por tanto la única colisión producida es en el instante t_0 .

El tiempo total transido:

$$\begin{aligned}
 T = & \text{DATA} + DIFS + 20\mu s + ACK + DIFS + 80\mu s + DATA + SIFS + ACK + DIFS + 100\mu s + DATA + SIFS + \\
 & + ACK + DIFS + 40\mu s + DATA + SIFS + ACK + DIFS + 30\mu s + DATA + SIFS + ACK + DIFS + 80\mu s + \\
 & + DATA + SIFS + ACK \Rightarrow \\
 \Rightarrow T = & 5160\mu s = 5.16 ms
 \end{aligned}$$

② a) Asigne direcciones IP a los equipos con restricciones:



b) Tablas HA y FA:

HA	
MN	C _o A
55.55.55.1/24	13.13.13.1/24

FA	
MN	HA
55.55.55.1/24	55.55.55.2/24

c) ¿Protocolo a utilizar y dispositivos que lo incluyen?

d) Tramas intercambiadas entre la transmisión de origen y destino.

1º MN busca al FA mandando una trama broadcast. → IP origen : 55.55.55.1/24
IP destino : 224.0.0.2
Así descubre al FA y la petición es de anuncio.

2º FA responde a la petición de anuncio asignándole un C_o → IP origen : 13.13.13.2/24
IP destino : 55.55.55.1/24

3º MN manda petición de registro del HA al FA: → IP o : 55.55.55.1/24
IP d : 13.13.13.2/24

4º FA recivida petición a HA y éste autentica a MN y responde a MN. Levanta túnel entre el FA y FA. → IP o : 55.55.55.2/24
IP d : 13.13.13.2/24

5º FA verifica autenticación y levanta túnel también y recivida la respuesta a MN; → IP o : 13.13.13.2/24
IP d : 55.55.55.1/24

e) Intercambio tramas de datos entre CN y MN. Camino, IP.o & IP.d.

1. CN envía trama a MN =>
 IP origen : IP CN
 IP destino : IP MN (55.55.55.1/24)

2. La trama se transmite al agente propio FA y aquí se encapsula con una nueva dirección IP =>
 IP origen : IP FA (55.55.55.2/24)
 IP destino : IP TA con (13.13.13.1/24)

3. La trama llega al FA y se desencapsula, luego vuelve a tener la misma dirección IP origen y destino que en el paso 1.

4. MN envía trama a CN por el camino normal, routers D-B-C

(4) a) Pasos para cambio de punto de acceso de estación móvil. ¿Algun estándar que acorte el tiempo? ¿cuál?

Los pasos seguidos para cambiar de punto de acceso ESS-BSS son:

- 1º Escaneo
- 2º Autenticación
- 3º Reasociación.
- 4º Derivación de PTK
- 5º Control de transmisión

El estándar 802.11n permite reducir los pasos de 5 a 3 por lo que hay una mejora en tiempo.

b) Novedades IEEE 802.11n respecto original d Vmax teórica?

La velocidad máxima teórica es de 600Mbps, realiza una mejor codificación OFDM, utiliza la tecnología MIMO y tiene un solo canal sin salto de frecuencia en la banda 2.4 GHz.

c) ¿Por qué DVB se basó para MMDS? y LMDS? ¿Por qué?

En el estándar cable para MMDS y en el estándar satélite para LMDS, los dos en downlink porque se puede utilizar el mismo set-top-box

d) Canal físico y lógico en GSM. ¿C. lógicos implementados? Describelos.

- El canal físico se define como una serie de rupturas temporales en tramas TDMA consecutivas
- Un canal lógico se define por el tipo de información enviada a través de un canal físico.

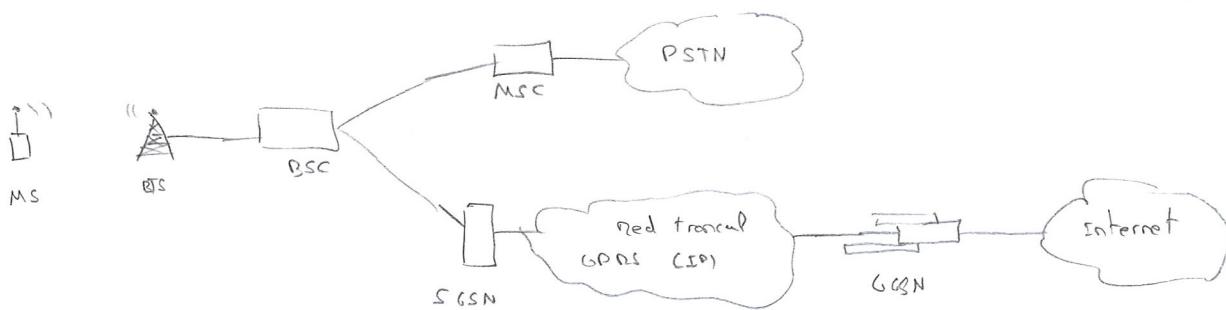
Los tipos de canales lógicos son:

- De tráfico: tramas TCH/F, TCH/H
 - SACCH: control posterior, adquisición temporal, envío de media.
- De control de circuito: son bidireccionales
 - SCCCH: señalización en llamadas.
 - FACCH: Progreso llamada, autenticación, buclever.

- Control en división: solo en anlace descendente: ↪
 - RACH: UL, móvil solicita canal
 - AGCH: DL, asignación inicial de SCCH
 - PCH: DL, buscar móvil en LAI.
- control común: ↪
 - RACH: UL, móvil solicita canal
 - AGCH: DL, asignación inicial de SCCH
 - PCH: DL, buscar móvil en LAI.

e) ¿objetivo: control de potencia en BTS? ¿y en móvil?

g) GPRS:



- El SGSN controla la gestión de movilidad utilizando el protocolo GMM cuyos procedimientos son los de conexión, desconexión, seguridad, seguimiento de la localización y paginado.
- El GGSN le asigna una dirección IP al móvil para que sea visible dentro la red elegida. Este también indica qué operador pertenece al móvil. Es entre el SGSN y la red externa por donde se establece el contexto EPC y entre el SGSN y el GGSN por donde se encapsula la información del usuario gracia a un túnel GTP.



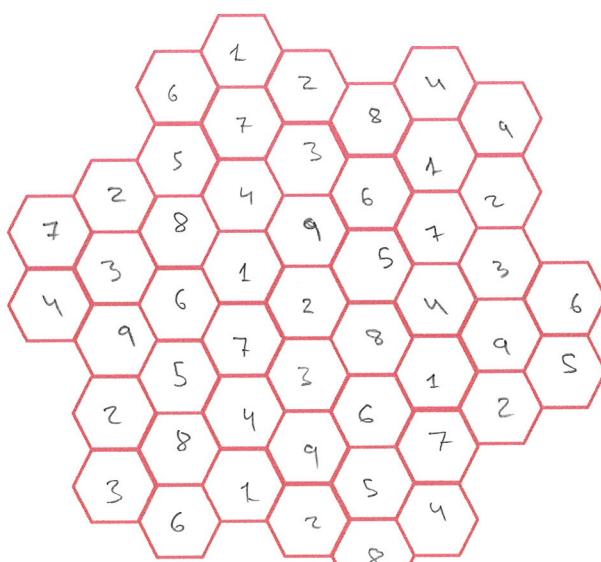
REDES INALÁMBRICAS Y MOVILIDAD

– 3^{er} curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación –
Convocatoria de Septiembre de 2013

Apellidos y nombre: _____

Examen de prácticas (2 puntos sobre 10)

- (0.1 ptos.) Escriba el comando necesario en el laboratorio para poder instalar paquetes del repositorio instalado en el servidor *eihal*.
- (0.1 ptos.) Indique qué comandos usaría para comprobar el controlador de tarjeta 802.11 instalado. ¿Qué tipo de información devolverían dichos comandos? ¿Cuál es el controlador utilizado en los PCs del laboratorio de prácticas?
- (0.1 ptos.) Explique razonadamente los pasos que realizaría para crear un punto de acceso en un PC del laboratorio, incluyendo los comandos y el contenido de los principales ficheros de configuración. Tenga en cuenta la posible existencia de redes inalámbricas que emiten en las proximidades.
- (0.1 ptos.) ¿Cómo configuraría el punto de acceso anterior para utilizar WEP? ¿Y para utilizar WPA? ¿Qué comandos usaría para conectarse desde un cliente al punto de acceso en cada caso?
- (0.1 ptos.) Indique el comando que utilizaría para modificar un parámetro de la tarjeta *wifi* en el laboratorio. ¿Cómo comprobaría el valor de dichos parámetros?
- (0.3 ptos.) Suponiendo un modelo simplificado de propagación, escriba las frecuencias utilizadas por cada celda en la siguiente figura si hay 9 frecuencias diferentes, el factor de reuso es K = 9 y el despliegue debe ser regular. Explique detalladamente cómo ha realizado dicha asignación.



$$K=9=3 \left\{ \begin{array}{l} i=0 \\ j=3 \end{array} \right\} 3^2+0^2+0=9$$

Figura 1. Despliegue celular mediante celdas hexagonales.

7. (0.25 ptos.) ¿Qué ocurriría en el anterior despliegue si se redujese el radio de las celdas? ¿Y si aumentase?

8. (0.2 ptos.) Enuncie la asignación de frecuencias en un sistema celular como un juego en forma normal. Tras realizar el juego, ¿se llega siempre a la misma solución? ¿Por qué?
9. (0.25 ptos.) De las siguientes figuras, ¿qué distribución de CIR es mejor? ¿Cuál utilizará un factor de reuso mayor? Razoné sus respuestas.

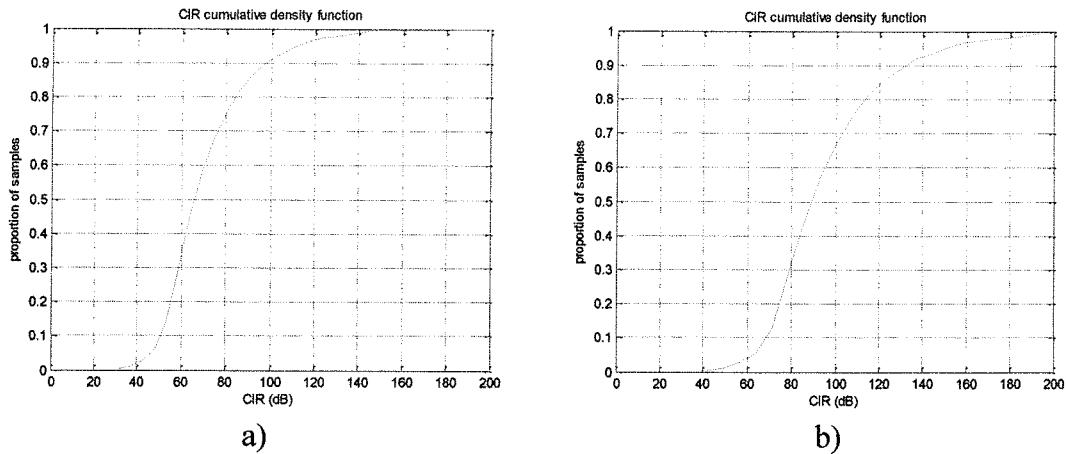


Figura 2. Funciones densidad de probabilidad acumulada de CIR para dos despliegues celulares.

10. (0.1 ptos.) ¿Qué paquete se ha utilizado en el laboratorio para instalar un *hotspot* en un PC con tarjeta 802.11? Indique las principales funcionalidades soportadas por dicho paquete.
11. (0.1 ptos.) ¿Qué fichero se utiliza para configurar el cortafuegos en el servicio de *hotspot* de la práctica? ¿A qué aplicación pertenece?
12. (0.1 ptos.) ¿Para qué se utiliza un servidor *Apache* a la hora de configurar un *hotspot* tal como se ha realizado en el laboratorio? ¿Qué hay que hacer para que el *hotspot* utilice HTTPS durante la fase de autenticación?
13. (0.1 ptos.) ¿Qué aplicación se ha utilizado como servidor de autenticación centralizado? ¿Cuáles son sus principales ficheros de configuración? ¿Qué se indica en cada fichero?
14. (0.1 ptos.) ¿Qué podríamos ver si se capturaran trazas con *Wireshark* durante la autenticación en el servicio de *hotspot* configurado en la práctica?

REDES INALÁMBRICAS Y MOBILIDAD

EXAMEN PRÁCTICAS SEPTIEMBRE 2013

(1) Sudo su -- permisos de superusuario

```
export http-proxy =  
wget "http://192.168.33.21/redes/nim/repository_ubuntu_precise.sh"  
sh ./repository_ubuntu_precise.sh
```

(2) Se pueden utilizar:

- lspci → muestra información de todas las tarjetas PCI : lspci -vvv -s xx:xx.x
- lsmod → class network
- lsmod
- modinfo "modulo" → da información del módulo controlado

En los ~~PC~~s se usan lspci.

(3) 1º Instalamos hostapd con:

→ sudo apt-get install hostapd

2º Modificamos los parámetros del fichero de configuración (`/etc/hostapd/hostapd.conf`) como este

```
interface=wifi  
driver=n180211  
ssid=prueba  
hw_mode=a  
channel=6
```

3º Encendemos hostapd tras crear un nuevo interfaz de red en modo actual:

sudo hostapd -d/etc/hostapd/hostapd.conf

4º Asignamos una IP fija al interfaz wifi.

sudo ifconfig wifi 172.30.24.1 netmask 255.255.255.0

5º La red inalámbrica incluirá un servidor DHCP.

④ Para conectarse al AP utilizando WEP:

```
iwconfig wifi up MAC_AP  
iw dev wifi connect SSID  
iw dev wifi connect SSID keys d:0:password
```

Para conectarse al AP con WPA:

wpa_supplicant controlador interfaz /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf

- Para WEP no es necesario configurar AP
- Para WPA creamos un fichero en /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf.

⑤ Comando: iwconfig

Comprobación con el comando: iw list

⑥ Si $R \downarrow \Rightarrow$ Aumenta la capacidad de la celda y la SIN \downarrow

Si $R \uparrow \Rightarrow$ Disminuye capacidad de la celda y SIN \uparrow

⑦

$$F = \{ N, \{ f_i^j | i \in N \} \} \leq \begin{array}{l} N = \text{nº jugadores} \\ U_i = \text{conjunto de funciones de utilidad,} \\ s_i = \text{conjunto estrategias} \end{array}$$

El juego termina cuando no haya ningún cambio en una iteración completa (ningún jugador mejora su utilidad si sólo él modifica su estrategia unilateralmente). Si, se llega siempre a la misma solución de equilibrio escogiendo siempre la estrategia que maximiza la utilidad del jugador elegido.

⑧ Mejorar SIN la b y por tanto utilizará un mayor FERSO. $\left[\text{SIN} = \frac{1}{(\sqrt{R}) - 1} \right]$

⑨

⑩