

**TLT-6100/6106 Langattoman tietoliikenteen perusteet, Tentti 22.6.2009**

*English version on the other side. Voit vastata suomeksi tai englanniksi. Laskimen käyttö sallittu.*  
Tentin vastuuhenkilö: Simona Lohan, TG116.

1. Kaupallisen mobiilivastaanottimen herkkyys on datakäytössä -200 dBm (dBm = teho dB:nä suhteessa mW:iin). Olettaen 1 mW lähetysteho, 1 GHz lähetystaajuus, lähettimen (tukiasema) antennikorkeus 20m, ja vastaanottimen antennikorkeus 1m, mikä on kuuluvuusalueen säde seuraavien etenemismallien mukaan? Mihin etenemismalliin kukin kaava liittyy? Mikä etenemismalli antaa tietyllä vakioetäisyydellä pienimmän etenemisvaimennuksen, ja miksi? Miten etenemisvaimennus muuttuu etäisyyden mukaan näillä malleilla (esitä etenemismallit lineaarisessa muodossa)?  $h_{T,m}$  on lähetyksantennin korkeus metreissä, ja  $h_{R,m}$  on vastaanotinantennin korkeus metreissä. (6p)

a)  $L_{dB} \approx 32.44 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{MHz}$   
b)  $L_{dB} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_{MHz}) - 13.82 \log_{10}(h_{T,m}) + (44 - 6.55 \log_{10}(h_{T,m})) \log_{10}(d_{km})$   
c)  $L_{dB} \approx 120 + 40 \log_{10} d_{km} - 20 \log_{10} h_{T,m} h_{R,m}$

2. a) Mitä on Multi-Access Interference (MAI) ja miten sitä voidaan minimoida CDMA monipääsyttekniikassa? (2p)  
b) Vertaa TDMA ja CDMA tekniikoita: peruseriaate, hyödyt, haitat (2p)  
c) Selitä isotrooppisen ja suuntaavan antennin periaatteet (2p)
3. a) Selitä WPAN-tekniikka (2p)  
b) Selitä WMAN-verkon perusominaisuudet (peitto, bittinopeus, liikkuvuus) (2p)  
c) Selitä MAC-kerroksen tarkoitus ja sijoita se 7-kerroksiseen OSI-malliin (esim. kerrosdiagrammin ja viereisten kerrosten avulla) (2p)
4. a) Vertaa GSM ja UMTS järjestelmäarkkitehtuureja (komponentit, lohko-kaavio, eri komponenttien perustoiminnallisuus) (3p)  
b) Piirrä kuusikulmaisista soluista klusteri, jossa uudelleenkäyttökerroin on 0.25. Oleta että voit valita taajuudet joukosta  $f_i$ ,  $i=1,2,\dots$ . Näytä mitä taajuutta käytetään missäkin klusterin soluista, sekä kahden naapuriklusterin soluissa (sama klusterikoko). Jos solun säde  $R=100m$ , mikä on uudelleenkäyttöetäisyys? Mikä on signaali-häiriösuhde (SIR) desibeleissä tälle klusterikoolle, jos ympäristön etenemiskspontti  $n=2$ ? (3p)
5. a) Kuvaa GPS-järjestelmän arkkitehtuuri (segmentit), signaali ja spektri, paikannuksen periaate, hyödyt ja suorituskyvyn rajoitukset (esim. virhelähteet), sovellusesimerkki, sekä tulevaisuuden ennuste (eli kerro oma mielipiteesi GPS:n tulevaisuudesta) (4p)  
b) Matkapuhelinverkon käyttäjä aiheuttaa keskimäärin 1 min 30s puheliikennettä ruuhkatunnin aikana. Montako käyttäjää tarvitaan aiheuttamaan i) 1% ja ii) 2% estotodennäköisyys (blocking probability), kun käytössä on 20 liikennekanavaa. (2p)

**TLT-6100/6106 Basic Course on Wireless Communications, Exam 22.6.2009**

*Suomenkielinen versio toisella puolella. You can give the answers in English or Finnish.*

Calculators are allowed. Exam's compiler: Simona Lohan, TG116.

1. A commercial mobile receiver for data transmission is specified with a sensitivity of -200 dBm (dBm=power in dB per mW). Assuming a 1 mW transmit power, a transmission frequency of 1 GHz, transmitter (or base station) antenna height of 20 m, and receiver antenna height of 1 m, what would be the radius of service area under the following path loss models? To which path loss model each of the formulas below corresponds? At equal cell radius, for which path loss model you get the minimum path loss and why? How is the path loss varying with the distance (in linear scale) for these models (show the path loss models in linear scale)?  $h_{T,m}$  is the transmit antenna height in meters and  $h_{R,m}$  is the receive antenna height in meters. (6p)

a)  $L_{dB} \approx 32.44 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{MHz}$   
b)  $L_{dB} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_{MHz}) - 13.82 \log_{10}(h_{T,m}) + (44 - 6.55 \log_{10}(h_{T,m})) \log_{10}(d_{km})$   
c)  $L_{dB} \approx 120 + 40 \log_{10} d_{km} - 20 \log_{10} h_{T,m} h_{R,m}$

2. a) What is the Multi-Access Interference (MAI) and how it can be minimized in CDMA multiple access schemes? (2p)  
b) Compare TDMA with CDMA: basic principle, advantages, disadvantages (2p)  
c) Describe the concepts of isotropic antenna and directional antennas (2p)
3. a) Describe a WPAN technology. (2p)  
b) Describe the main characteristics of a WMAN (coverage, approximate bit rates, mobility) (2p)  
c) Describe the purpose of MAC layer and situate it in the context of 7-layer OSI model (e.g., via the layer diagram and by specifying which are its neighbor layers) (2p)
4. a) Compare GSM system architecture with UMTS system architecture (components, block diagrams, basic functionality of each component) (3p)  
b) Draw a cluster of hexagonal cells, which has a re-use factor of 0.25. Assuming that you can choose from a range of frequencies  $f_i, i=1,2,\dots$ , show what frequency is to be used in each cluster cell and in each cell of 2 neighbor clusters (with same cluster size). If the cell range is  $R=100m$ , what is the value of the re-use distance? What is the value of the Signal to Interference ratio (SIR) in decibels for this cluster size, in an environment with the path loss factor  $n=2$ ? (3p)
5. a) Describe the GPS system in terms of architecture (segments), signals and spectra, principle of positioning, advantages and limitations of performance (e.g., sources of errors), example of applications, and forecast future (i.e., give your opinion on the future of GPS) (4p)  
b) A mobile phone subscriber generates on average 1 min 30s voice traffic during the busy hour. How many subscribers in a cell having 20 traffic channels will cause a blocking probability of i) 1%, ii) 5% (2p)

**TLT-6100 Langattoman tietoliikenteen perusteet**  
**TLT-6106/6100 Basic Course on Wireless Communications**

**Appendix to the Exam 30.1.2009 (part 1 of 2)**

**List of formulas:**

$$P_R = \frac{P_T}{4\pi R^2} A_e \quad G = \eta \left( \frac{\pi D f}{c} \right)^2 \quad P_N = -228.6 + 10 \log_{10} T + 10 \log_{10} B + NF_{dB}$$

$$L_{dB} = 32.4 + 20 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{MHz} \quad L = 4 \sin^2 \left( \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d} \right) \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad P_R(d) = P_R(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^n$$

$$L = A + B \log_{10}(f_{MHz}) - 13.82 \log_{10}(h_b) + (C - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d_{km}) - K$$

$$L = L_{ref} + 20 \log_{10} d + \sum_{f=1}^F FAF(f) + \sum_{w=1}^W WAF(w)$$

$$P_R(d) = P_R(d_0) - 10n \log_{10}(d/d_0) + \Psi_{dB}$$

$$p_{out} = p(P_R(d) < P_{min}) = 1 - Q \left( \frac{P_{min} - P_R(d_0) + 10n \log_{10}(d/d_0)}{\sigma_{\Psi_{dB}}} \right) \quad Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$$

$$f_{Z_r}(z_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-z_r^2/2\sigma^2} \quad f_R(r|\sigma) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-r^2/2\sigma^2} \quad f_R(r|v, \sigma) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2+v^2)}{2\sigma^2}} I_0 \left( \frac{rv}{\sigma^2} \right)$$

$$f_R(r|k, \sigma) = \frac{2}{\Gamma(k)} \left( \frac{k}{2\sigma^2} \right)^k r^{2k-1} e^{-\frac{kr^2}{2\sigma^2}} \quad \Gamma(k) = \int_0^{\infty} y^{k-1} e^{-y} dy$$

$$\mu_{\tau} = \frac{1}{P_{av}} \sum_{\tau=0}^{\infty} \tau P(\tau) \quad \sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{1}{P_{av}} \sum_{\tau=0}^{\infty} (\tau - \mu_{\tau})^2 P(\tau)}$$

$$S_E(f) = \frac{1.5}{\pi f_m \sqrt{1 - \left( \frac{f - f_c}{f_m} \right)^2}}$$

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_k(n) p(t - nT_c)$$

$$T = \lambda_p T_p e^{-2\lambda_p T_p} = L e^{-2L}$$

$$T = \lambda_p T_p e^{-\lambda_p T_p} = L e^{-L}$$

$$C = MkN = MS$$

$$N = i^2 + ij + j^2$$

$$SIR = \frac{d_0^{-n}}{\sum_{j=1}^J d_j^{-n}}$$

$$SIR = \frac{R^{-n}}{\sum_{j=1}^J D_j^{-n}} = \frac{\left( \frac{D}{R} \right)^n}{J} = \frac{Q^n}{J} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{6}$$

$$E_u = H(1/\mu), E = UE_u$$

$$\Pr[\text{delay} > 0] = \frac{\frac{E^M}{M!} \frac{M}{M-E}}{\frac{E^M}{M!} \frac{M}{M-E} + \sum_{i=0}^{M-1} \frac{E^i}{i!}}$$

$$\Pr[\text{blocking}] = \frac{E^M / M!}{\sum_{i=0}^M E^i / i!}$$

*Handwritten signature: A. Tuomi*

**TLT-6100 Langattoman tietoliikenteen perusteet**  
**TLT-6106/6100 Basic Course on Wireless Communications**

**Appendix to the Exam 30.1.2009 (part 2 of 2)**

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} \qquad IM = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{1-\eta} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{N+I}{N} \right)$$

$$\eta_{UL} = \sum_{k=1}^K \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k R_k}} v_k (1 + i_{UL}) \qquad \eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \left[ \frac{\rho_i R_i v_i}{W} ((1 - \alpha_i) + i_i) \right]$$

$$P_{rx,j} = G_{ij} P_{tx,i}$$

$$PG = 10 \log_{10} \left( \frac{R_c}{R_b} \right)$$

$$\Gamma_i = \frac{G_{ij} P_j}{\sum_{k \neq j} G_{ki} \theta_{ki} P_k + N_i}$$

$$P_i(t) = \frac{R_i(t)}{\lambda_i(t)}$$

$$P_i(t) = \frac{R_i(t)}{\lambda_i(t)} \left[ \frac{\max_j \{R_j(t)\}}{R_i(t)} \right]$$

$$p_i = c(tR - tT) = r + c\Delta t;$$

$$s_{SinBOC}(t) \triangleq \text{sign} \left( \sin \left( \frac{N_{BOC} \pi t}{T_c} \right) \right)$$

**Erlang B capacity with 1%, 2%, 3% and 5% blocking**

CHs	1%	2%	3%	5%
1	0.01	0.02	0.03	0.05
2	0.15	0.22	0.28	0.38
3	0.46	0.60	0.72	0.90
4	0.87	1.09	1.26	1.52
5	1.36	1.66	1.88	2.22
6	1.91	2.28	2.54	2.96
7	2.50	2.94	3.25	3.75
8	3.13	3.63	3.99	4.54
9	3.78	4.34	4.75	5.37
10	4.46	5.08	5.53	6.22
11	5.16	5.84	6.33	7.08
12	5.88	6.61	7.14	7.95
13	6.61	7.40	7.97	8.83
14	7.35	8.20	8.80	9.73
15	8.11	9.01	9.65	10.60
16	8.88	9.83	10.50	11.50
17	9.65	10.70	11.40	12.50
18	10.40	11.50	12.20	13.40
19	11.20	12.30	13.10	14.30
20	12.00	13.20	14.00	15.20

CHs	1%	2%	3%	5%
21	12.80	14.00	14.90	16.20
22	13.70	14.90	15.80	17.10
23	14.50	15.80	16.70	18.10
24	15.30	16.60	17.60	19.00
25	16.10	17.50	18.50	20.00
26	17.00	18.40	19.40	20.90
27	17.80	19.30	20.30	21.90
28	18.60	20.20	21.20	22.90
29	19.50	21.00	22.10	23.80
30	20.30	21.90	23.10	24.80
31	21.20	22.80	24.00	25.80
32	22.00	23.70	24.90	26.70
33	22.90	24.60	25.80	27.70
34	23.80	25.50	26.80	28.70
35	24.60	26.40	27.70	29.70
36	25.50	27.30	28.60	30.70
37	26.40	28.30	29.60	31.60
38	27.30	29.20	30.50	32.60
39	28.10	30.10	31.50	33.60
40	29.00	31.00	32.40	34.60

Vlad.tabus@tut.fi