

**ELT-41200 Langattoman tietoliikenteen perusteet**  
**Tentti ja toinen välikoe, 3.3.2016 / Jaakko Marttila**

*Mukana saa olla oma laskin. Koepaperin liitteenä on kaavakokoelma. Vastata voit suomeksi tai englanniksi. Tätä tenttipaperia ei tarvitse palauttaa.*

*Vastaa joko tenttiin tai välikokeeseen, mutta älä molempiin!*

**Tentti:** kysymykset 1–5

**Välikoe:** kysymykset 3–7

1. a) Vertaa lyhyesti keskenään taajuusalueita VLF (3–30 kHz) ja UHF (300–3000 MHz) radiosignaalin etenemisen kannalta. Mainitse lisäksi, mitä oleellisia eroja kyseisillä taajuusalueilla on tietoliikennejärjestelmien näkökulmasta. Miksi esimerkiksi UMTS-matkapuhelinjärjestelmää ei voitaisi toteuttaa VLF-taajuusalueella?  
  
b) Selitä, mitä tarkoitetaan kanavan *koherenssiajalla* ja *koherenssikaistanleveydellä*. Miten nämä liittyvät termeihin *Doppler-haje* ja *viivehaje*. Miten kanavan aikaselektiivisyys ja taajuusselektiivisyys liittyvät edellä mainittuihin suureisiin?
2. a) Oletetaan matkapuhelinjärjestelmä, jossa puheyhteys toimii, mikäli matkapuhelimen vastaanottama tehotaso on vähintään -119 dBm. Kuinka monta wattia pitää olla tukiaseman lähetysteho, jotta puheyhteys toimii? Tukiaseman kaapelihäviöt ovat 5 dB, tukiaseman antennivahvistus on 4 dBi ja etenemisvaimennus radiotiellä on 149 dB. Oleta matkapuhelimen kaapelihäviöiksi 2 dB ja antennivahvistukseksi 0 dBi.  
  
b) Mitkä tekijät vaikuttavat radiotien vaimennukseen lähettimen ja vastaanottimen pysyessä paikoillaan? Mitä hyötyä ja/tai haittaa (i) pienestä tai (ii) suuresta radiotien vaimennuksesta on järjestelmälle?
3. Selitä lyhyesti (muutamalla lauseella) seuraavat langattomaan tietoliikenteeseen liittyvät käsitteet:
  - a) samankanavan häiriö
  - b) linkkibudjetti ja linkkibudjetin tasapainottaminen
  - c) kova ja pehmeä solunvaihto
  - d) random access procedure
  - e) pakettikytkentäisyys
  - f) kolmiomittaus (trilateration)
4. Vertaile langattomien lähiverkkojen (WLAN) ja matkaviestinverkkojen ominaisuuksia, ottaen huomioon mm. seuraavat näkökulmat: verkon peitto ja kapasiteetti, kustannukset, taajuusalueet, liikkuvuus (mobiliteetti). Mitä yhteisiä piirteitä näillä tekniikoilla on, ja mitkä ovat keskeisiä eroja? Ota huomioon sekä radiorajapinta että runkoverkko.
5. a) Kuinka monesta eri GPS-satelliitista tarvitaan signaali paikannusratkaisun muodostamiseen? Perustele vastauksesi. Mitä hyötyä saadaan, jos satelliittisignaaleita on käytettävissä enemmän kuin minimimäärä?  
  
b) Kuvaile jokin soluverkkopohjainen paikannusmenetelmä ja vertaa sitä satelliittipaikannukseen.
6. a) Matkapuhelinkäyttäjä aiheuttaa keskimäärin 102 sekuntia puheliikennettä kiiretunnin aikana. Montako matkapuhelinkäyttäjää voi olla solussa, jossa on 15 puhekanavaa? Eston todennäköisyyden halutaan olevan 1%.  
  
b) Millaisia menetelmiä voidaan käyttää matkapuhelinverkon kapasiteetin lisäämiseksi?
7. a) Kerro tehonsäädön merkityksestä solukoverkoissa.  
  
b) Mitä muita oleellisia toimintoja (tehonsäädön lisäksi) tarvitaan radioresurssien hallintaan solukoverkoissa?

**ELT-41200 Basic Course on Wireless Communications**  
**Exam and second midterm exam, 3.3.2016 / Jaakko Marttila**

*You can use your own calculator. A set of formulas and a feedback form is attached to the exam paper. You can answer in English or Finnish. This exam paper does not have to be returned.*

*Please answer to the exam or midterm exam, but not both!*

**Exam:** questions 1–5

**Midterm exam:** questions 3–7

1. a) Compare briefly VLF (3–30 kHz) and UHF (300–3000 MHz) frequency ranges in terms of radio signal propagation characteristics. In addition, mention what are the essential differences between these frequency ranges from the communications systems point of view. Why, for example, UMTS mobile phone system cannot be implemented in VLF frequency range?
2. b) Explain the meanings of channel *coherence time* and channel *coherence bandwidth*. How are these related to terms Doppler *spread* and *delay spread*? How are these aforementioned terms related to the time selectivity and frequency selectivity of the channel?
3. a) Let's assume a mobile phone system, which has a working speech connection, if the received power level of the mobile phone is at least -119 dBm. How many watts should be the transmission power of the base station in order to have a working speech connection? Base station feeder losses are 5 dB, base station antenna gain is 6 dBi and the propagation loss on the radio path is 149 dB. Assume that the feeder losses at the mobile phone are 2 dB and the antenna gain of the mobile is 0 dBi.  
  
b) What factors affect the propagation loss on the radio path, when the transmitter and the receiver are stationary? What advantage and/or disadvantage (*i*) low or (*ii*) high propagation loss on the radio path brings for the system?
4. Explain briefly (couple of sentences) the following terms related to wireless communications:
  - a) co-channel interference
  - b) link budget and balancing a link budget
  - c) hard and soft handover
  - d) random access procedure
  - e) packet switching
  - f) trilateration
5. a) A mobile phone user generates on average 102 seconds voice traffic during the busy hour. How many users can be served in a cell, which has 15 voice traffic channels? The blocking probability should be 1%.  
  
b) What kind of methods can be used to increase the capacity of the cellular network?
6. a) How many satellite signals are needed for obtaining a navigation solution? Explain why. Explain also the benefits, if more than the minimum number of satellites is visible.  
  
b) Describe one cellular-based positioning method and compare it with satellite positioning.
7. a) Discuss about the significance of power control in cellular networks.  
  
b) What other essential functions (in addition to power control) are required for radio resource management in cellular networks?

ELT-41200 Langattoman tietoliikenteen perusteet (Basic Course on Wireless Communications)

Liite tenttiin (sivu 1/2) – Appendix for the exam (page 1/2)

$$P_R = \frac{P_T}{4\pi R^2} A_e \quad A_e^{iso} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad G = \eta \left( \frac{\pi D f}{c} \right)^2 \quad P_N [\text{dBm}] = -198.6 + 10 \log_{10} T + 10 \log_{10} B + NF_{\text{dB}}$$

$$L = 32.4 + 20 \log_{10} d_{\text{km}} + 20 \log_{10} f_{\text{MHz}} \quad \frac{1}{L} = 4 \sin^2 \left( \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d} \right) \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad P_R(d) = P_R(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^n$$

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

	150–1500 MHz	1500–2000 MHz
A	69.55	46.3
B	26.16	33.9

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

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

$$p_{\text{out}} = p(P_R(d) < P_{\text{min}}) = 1 - Q \left( \frac{P_{\text{min}} - P_R(d_0) + 10n \log_{10}(d/d_0)}{\sigma_{\Psi_{\text{dB}}}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$$

$$f_D = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \quad S_E(f) = \frac{1.5}{\pi f_m \sqrt{1 - \left( \frac{f - f_c}{f_m} \right)^2}} \quad \mu_{\tau} = \frac{1}{P_{\text{av}}} \sum_{\tau=0}^{\infty} \tau P(\tau) \quad \sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{1}{P_{\text{av}}} \sum_{\tau=0}^{\infty} (\tau - \mu_{\tau})^2 P(\tau)}$$

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

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_k(n) p(t - nT_c) \quad T = \lambda_p T_p e^{-2\lambda_p T_p} = L e^{-2L} \quad T = \lambda_p T_p e^{-\lambda_p T_p} = L e^{-L}$$

Continued on other side →

ELT-41200 Langattoman tietoliikenteen perusteet (Basic Course on Wireless Communications)

Liite tenttiin (sivu 2/2) – Appendix for the exam (page 2/2)

$$C = MkN = MS$$

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

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

$$SIR = \frac{d_0^{-n}}{\sum_{j=1}^J d_j^{-n}} \quad SIR = \frac{R^{-n}}{\sum_{j=1}^J D_j^{-n}} = \frac{\left(\frac{D}{R}\right)^n}{J} = \frac{Q^n}{J} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{6}$$

$$A_u = \frac{\mu}{1 \text{ hour}}, A = UA_u$$

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

$$\Pr[\text{delay} > 0] = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) + \sum_{i=0}^{C-1} \frac{A^i}{i!}}$$

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

$$\Gamma_i = \frac{g_{ii} P_i}{\sum_{j \neq i} g_{ij} P_j + n_i}$$

$$\rho_i = c(t_R - t_T) = r + c\Delta t$$

$$N_{BOC} = 2 \frac{m}{n} = 2 \frac{f_{sc}}{f_c}$$

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

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