

$$10 \log_{10} \left(\frac{X}{1W} \right) P_{dB}$$

1000mW

ELT-41200 Langattoman tietoliikenteen perusteet
Tentti ja toinen välikoe, 28.2.2017 / 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

- a) Oletetaan, että isotrooppisen säteilijän lähetysteho on 40 W, toimintataajuus on $f = 2.4$ GHz, ja linkin pituus on 2 km. Vastaanottimessa on isotrooppinen antenni. Mikä etenemisvaimennus dB-lukuna olettaen (i) vapaan tilan vaimennusmallin ja (ii) yksinkertaistetun vaimennusmallin, jonka etenemisvaimennuksen eksponentti on 4 10 metrin etäisyydestä lähtien?

b) Miksi kohdissa (i) ja (ii) käytetyt vaimennusmallit antavat eri tuloksen? Pohdi mallien realismia. Minkälaiset vaimennusmallit voisivat antaa tarkempia tuloksia?
- a) Oletetaan matkapuhelinjärjestelmä, jossa puheyhteys toimii, mikäli matkapuhelimen vastaanottama tehotaso on vähintään -106 dBm. Kuinka monta wattia pitää olla tukiaseman lähetysteho, jotta puheyhteys toimii? Tukiaseman kaapelihäviöt ovat 4 dB, tukiaseman antennivahvistus on 5 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?
- Selitä lyhyesti (muutamalla lauseella) seuraavat langattomaan tietoliikenteeseen liittyvät käsitteet:

 - samankanavan häiriö
 - linkkibudjetti ja linkkibudjetin tasapainottaminen
 - kova ja pehmeä solunvaihto
 - satunnaispääsyprosessi (random access procedure)
 - verkkovierailu (roaming)
 - kolmiomittaus (trilateration)
- 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 radorajapinta että runkoverkko.
- Selitä, miten seuraavilla menetelmillä/parametreilla voidaan vaikuttaa langattoman solukkon verkon peittoon ja kapasiteettiin: (i) solun koko, (ii) tukiaseman antennikorkeus, (iii) sektorointi, (iv) tukiasema-antennin suuntaaminen alaviistoon. Oleta, että operaattorilla on käytettävissään tietty kiinteä taajuuskaista ja kiinteä määrä liikennekanavia. Tarkastele asiaa erityisesti saman kanavan häiriön kannalta eli mikä on ko. häiriön merkitys peitolle ja kapasiteetille sekä miten ko. menetelmät vaikuttavat ko. häiriöön. Ota huomioon myös taajuuksien (tai radioresurssien) uudelleenkäyttökerroin.
- 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.
- a) Kerro tehonsäädön merkityksestä solukkon verkoissa.

b) Mitä muita oleellisia toimintoja (tehonsäädön lisäksi) tarvitaan radioresurssien hallintaan solukkon verkoissa?

ELT-41200 Basic Course on Wireless Communications
Exam and second midterm exam, 28.2.2017 / 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) Let's assume that the transmitted power of an isotropic radiator is 40 W, the operating frequency is $f = 2.1$ GHz, and the link distance is 2 km. Isotropic antenna is used in the receiver. What is the propagation loss in dB when assuming (i) free-space loss model and (ii) simplified path loss model with propagation exponent of 4 starting from distance of 10 meters.

b) Why path loss models in (i) and (ii) give different results? Discuss how realistic these models are. What kind of path loss models could give more accurate results?
2. 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 -106 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 4 dB, base station antenna gain is 5 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?
3. 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) roaming
 - f) trilateration
4. Compare the properties of wireless local area networks (WLANs) and cellular mobile networks, taking into account, e.g. the following point-of-views: network coverage and capacity, network costs, frequency ranges and mobility. What is common in these technologies and what are the main differences? Take into account both the radio access network and the core network.
5. Explain, how the following methods/parameters can be used for controlling the coverage and capacity of a cellular network: (i) cell size, (ii) base station antenna height, (iii) sectoring, (iv) base station antenna downtilt. Assume that the operator has a fixed frequency band with a fixed number of traffic channels. Discuss the issue considering especially the co-channel interference, i.e., what is the effect of this interference on the coverage and capacity, and how the methods/parameters affect this interference. Discuss also the significance of frequency (or radio resource) reuse factor in this context.
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 →

$$C = MkN = MS$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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