

Ülesanne 1: Mitu bitti informatsiooni edastab sõnum m , mille esinemise tõenäosus on $p(m) = 1,95 \cdot 10^{-3}$?

Sõnumis sisalduv informatsioonihulk on pöördvõrdeline sõnumi esinemise tõenäosusega:

$$I(m) = \log_2 \left(\frac{1}{p(m)} \right) = -\log_2 [p(m)] = -\log_2 (1,95 \cdot 10^{-3}) = 9 \text{ bitti}$$

Vastus: Sõnum m sisaldab 9 bitti informatsiooni.

Ülesanne 2: Mitu bitti informatsiooni sisaldab üks monokromaatiline CIF formaadis videokaader, kui iga piksel salvestatakse ühe baidise kahendarvuna?

CIF (*Common Intermediate Format*) kaadri resolutsioon on 352x240 pildipunkti ehk pikslit (loen õigeks ka 352x288). Seega on ühes kaadris kokku $352 \cdot 240 = 84480$ pikslit. Kuna iga pildipunkt sisaldab ühe baidi, ehk kaheksa bitti informatsiooni, seega on ühes kaadris 84480 baiti ehk $84480 \cdot 8 = 675840$ bitti informatsiooni.

Vastus: Üks kaader sisaldab 675840 bitti informatsiooni.

Ülesanne 3: Skitseeri paberile järgmised signaalid

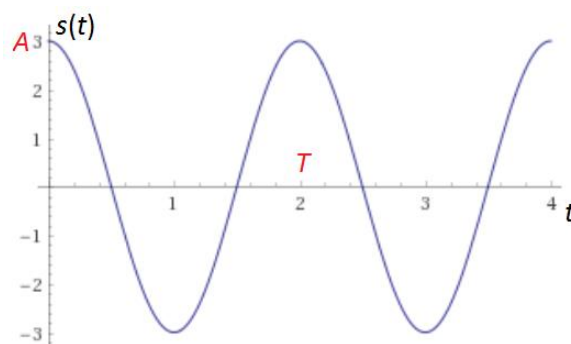
$$s(t) = 3 \cdot \cos(\pi t)$$

$$s(t) = 0,4 \cdot \sin(2\pi t + \pi)$$

$$s(t) = -1,2 \cdot \cos(3\pi t)$$

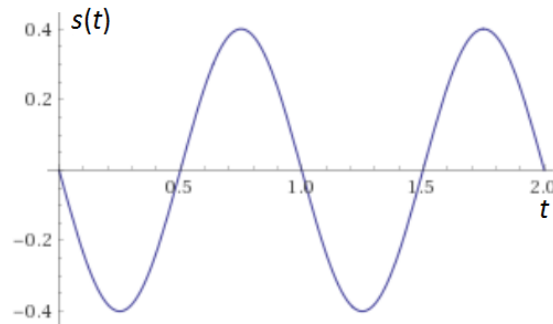
Harmonilise signaali avaldis üldkujul on järgmine: $s(t) = A \cdot \sin(2\pi f t + \varphi)$. A on signaali amplituud, ehk signaali maksimaalne kõrvalekalle keskvärtusest. Sagedus f näitab võngete arvu ühes sekundis ja algfaas φ määrab, et millise on signaali väärtus alghetkel $t = 0$. Joonise skitseerimine on palju lihtsam, kui sageduse asemel kasutada viimase pöördväärtust: signaali perioodi $T = 1/f$. Periood T on ühe võnke kestus ajaühikutes.

Analüüsime näitena esimest signaali $s(t) = 3 \cdot \cos(\pi t)$. Esimese asjana on lihtne näha, et võnkumise amplituud on $A = 3$. Teisena näeme, et tegemist on koosinusega, mis tähendab, et signaali väärtus ajahetkel $t = 0$ on maksimaalne, võrdues amplituudiga A ning hakkab sellest hetkest edasi kahanema. Viimasena leiame võnkumise sageduse ja perioodi. Üldkujust teame, et aja t kordaja on $2\pi f$, meie konkreetse signaali korral on $2\pi f = \pi$, millest saame avalda sageduse väärtuse $f = 1/2 \text{ Hz}$. Viimase pöördväärtus ehk periood on seega $T = 1/f = 2 \text{ s}$. Analüüsitud signaali graafik on toodud joonisel 3.1.



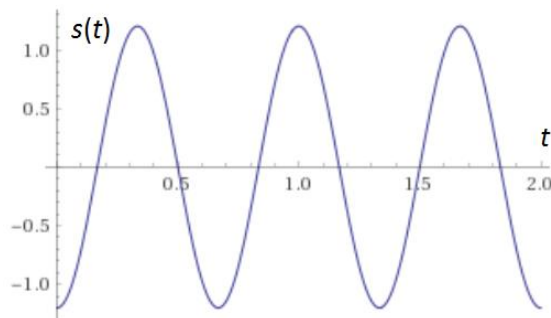
Joonis 3.1. Koosinussignaali graafik

Teise signaali $s(t) = 0,4 \cdot \sin(2\pi t + \pi)$ korral näeme, et amplituud $A = 0,4$ ja sagedus $f = 1\text{Hz}$. Viimasest saame järeldada, et signaali periood on $T = 1\text{s}$. Signaali kirjeldavaks funktsiooniks on seekord siinus, kuid näeme, et algfaas ei ole null vaid π radiaani (180°). Seega algab võnkumine ajahetkel $t = 0$ küll nullist, aga sealt alates hakkab hoopis kahanema, mitte kasvama (vt joonis 3.2).



Joonis 3.2. Teise signaali graafik

Kolmanda signaali $s(t) = -1,2 \cdot \cos(3\pi t)$ amplituud on $A = 1,2$. Siinkohal on oluline rõhutada, et definitsiooni kohaselt on amplituud positiivne suurus! Sageduseks f saame $1,5\text{Hz}$ ja perioodiks seega $T = 2/3\text{s}$. Järgnevalt tegeleme signaali avaldise ees oleva miinusemärgiga. Miinus ühega läbikorrutamise on harmoonilise signaali seisukohast ekvivalentne π radiaani (180°) suuruse faasinihkega: $-1 \cdot \cos(t) = \cos(t + \pi)$. Seega võime meie avaldise ümber kirjutada kujule $s(t) = -1,2 \cdot \cos(3\pi t) = 1,2 \cdot \cos(3\pi t + \pi)$. Soovi korral võime veel arvesse võtta siinuse ja koosinuse vahelist faasinihet $\pi/2$ (90°) ja kirjutada meie kolmanda signaali välja üldkujul $s(t) = 1,2 \cdot \sin(3\pi t + 3\pi/2)$. Sellisel juhul on meil teada ka algfaasi φ väärtus $1,5\pi$. Kolmanda signaali graafik on toodud joonisel 3.3.



Joonis 3.3. Kolmanda signaali graafik

Ülesanne 4: Muusika salvestamisel CD plaadile on kasutatav dünaamiline diapasoone, ehk kõige valjema ja kõige vaiksema helivõimsuse suhe, mida saa veel plaadile salvestada, 96dB . Mitu korda on kõige valjem heli kõige vaiksemast tugevam?

Dünaamiline diapasoone D on kahe võimsuse P_{max} ja P_{min} suhe, mis on logaritmiselt väljendatud kujul:

$$D = 10 \log \left(\frac{P_{max}}{P_{min}} \right) [dB].$$

Selleks, et leida antud suhet absoluutarvudes tuleb viimasest valemist avaldada meile huvipakkuv suhe. Selleks jagame esmalt avaldise mõlemad pooled kümnega läbi saades:

$$\frac{D}{10} = \log\left(\frac{P_{\max}}{P_{\min}}\right).$$

Seejärel tõstame avaldise mõlemad pooled kümne astendajaks

$$10^{\frac{D}{10}} = 10^{\log\left(\frac{P_{\max}}{P_{\min}}\right)}.$$

Kuna kümnendlogaritm on kümne astmele tõstmise pöördfunktsioon siis saamegi lõpptulemuse kujul:

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 10^{\frac{D}{10}}.$$

Meie konkreetsel juhul saame

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 10^{\frac{96}{10}} = 10^{9,6} = 3,98 \cdot 10^9.$$

Vastus: Kõige valjem heli on kõige vaiksemast tugevam ligikaudu neli miljardit korda ($3,98 \cdot 10^9$).

Ülesanne 5: CAT-5 kaablis kasutatava (ühe) juhtme takistus on $0,053\Omega$ meetri kohta. Kui suur on maksimaalne keerdpaari kogutakistus 10BASE-T Etherneti võrguühenduse korral?

10BASE-T kaabli maksimaalne pikkus on üldjuhul 100m. Üks keerdpaar koosneb kahest juhtmest, seega keerdpaari maksimaalne pikkus on $2 \cdot 100\text{m}$. Ühe meetri takistus on $0,053\Omega$, seega 200m kogutakistus on $200 \cdot 0,053 = 10,6\Omega$.

Vastus: Keerdpaari maksimaalne kogutakistus on $10,6\Omega$

Ülesanne 6: Kui eelmises ülesandes kirjeldatud kaabli ühes otsas on 100Ω terminaator ja teise otsa anda $4,5\text{V}$ alalispinge, siis kui suur pinge tekib terminaatori otstel?

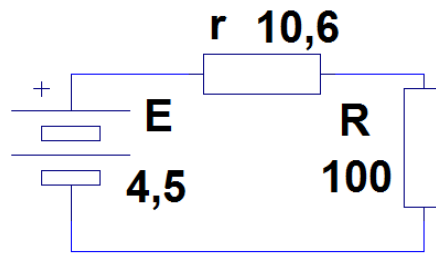
Kaabli kogutakistuseks saime eelmises ülesandes $r = 10,6\Omega$. Käesolevat ülesannet illustreeriv aseskeem on kujutatud joonisel 6.1. Näeme, et meie kaabliga on jadamisi ühes kaabli otsas olev 100Ω takistusega terminaator R ja teises kaabli otsas olev alalispinge allikas elektromotoorjõuga $E = 4,5\text{V}$.

Vastavalt Oomi seadusele on antud ahelas tekkiv voolutugevus

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

Antud voolutugevuse I juures tekib terminaatori otstel pingelang

$$U_R = I \cdot R = \frac{ER}{R+r} = \frac{4,5 \cdot 100}{100+10,6} = 4,07V$$



Joonis 6.1 Aseskeem

Vastus: Terminaatori otstel tekib pinge 4,07V.

Ülesanne 7: Sumbumus koaksiaalkaablis on 6dB 100 meetri kohta. Mitu korda nõrgem on 150m pikkuse kaabli väljundsignaali võimsus sisendsignaali omast?

Kui sumbumus 100m kohta on 6dB, siis 150 meetri kohta on sumbumus

$$L = \frac{150}{100} 6 = 9\text{dB}.$$

Sumbumus näitab mitme dB võrra on kaabli väljundsignaali $P_{välj}$ võimsus väiksem sisendsignaali omast P_{sis} :

$$L = 10 \log \left(\frac{P_{sis}}{P_{välj}} \right) [dB].$$

Seega sumbumus kordades (täpsem lahenduskäik ülesande 4 juures) on

$$\frac{P_{sis}}{P_{välj}} = 10^{\frac{L}{10}} = 10^{0,9} = 7,94.$$

Vastus: 150m pikkuse kaabli väljundis on signaali võimsus 7,94 korda väiksem, kui sisendis.

Ülesanne 8: Kui suur on kõige pikema ja lühema leviteekonna pikkuste erinevus järgmiste parameetritega valguskaablis: südamikü läbimõõt 125 μ m ja murdumisnäitaja 1,54. Ümbrise murdumisnäitaja on 1,2.

Joonisel 1.7 on kujutatud valguskaabli ristlõige. Kaabli südamikul (joonisel valge) on murdumisnäitaja $n_1 = 1,54$ ja südamiku ümbrisel (*cladding*), mida joonisel on kujutatud halliga, on väiksem murdumisnäitaja $n_2 = 1,2$.

Ilmselgelt on kõige lühem võimalik tee ühest kaabli otsast teise kaabli teljega paralleelne sirge. Sellise teekonna pikkus on võrdne kaabli pikkusega.

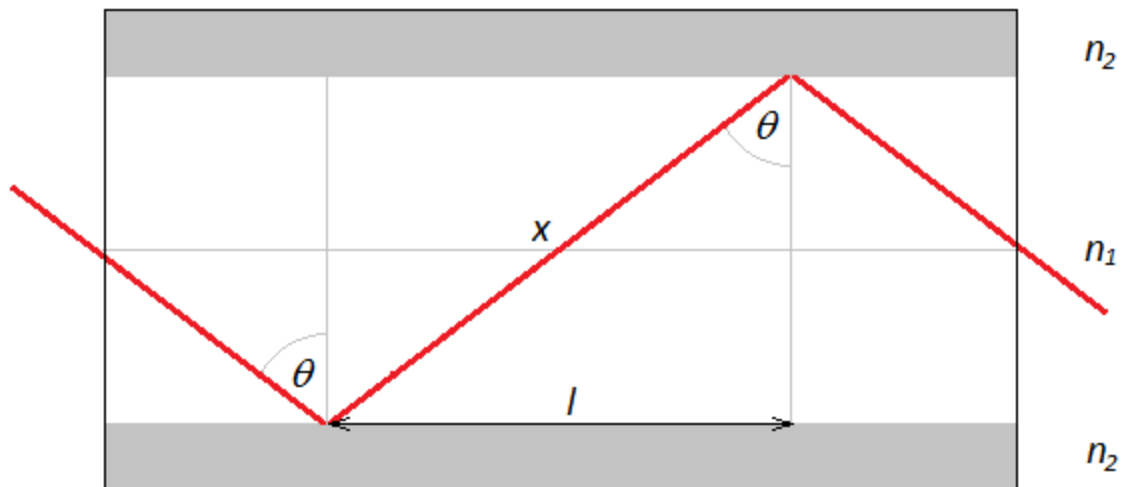
Juhul, kui valgus langeb kaabli otsale telje suhtes nullist suurema nurga all, on esimese levitee siksaki kujuline. Sellisel juhul hakkab teepikkus sõltuma nurgast θ , mille all valgus südamiku ümbrisele langeb. Selleks, et valgus liiguks pikki kaabli pikkuse edasi / meetrit peab ta kaablis endas läbima $x = l/\sin(\theta)$ meetrit. Viimasest avaldisest on lihtne järeldada, et mida väiksem on langemisnurk θ , seda pikema teekonna peab valgus kaablis läbima.

Langemisnurk θ ei saa siiski olla kuitahes väike, minimaalne lubatud langemisnurk on määratud Snelli seaduse alusel südamiku- ja ümbrise murdumisnäitajate poolt. Kui langemisnurk läheb kriitilisest θ_{kr} väärtusest väiksemaks, siis tungib valgus südamikust ümbrisesse ja sumbub seetõttu kiiresti. Kriitiline nurk on

$$\theta_{kr} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}.$$

Kombineerides nüüd kahte avaldist, saame, et maksimaalne läbitav teepikkus x kaabli pikkuse l kohta on

$$\frac{x}{l} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1,54}{1,2} = 1,28.$$



Joonis 9.1 Kiire tee valguskaablis

Vastus: Tulemusest näeme, et konkreetsetes kaablis on iga meetri kaabli kohta maksimaalse ja minimaalse valguse leviteekonna pikkuste erinevus 28 sentimeetrit või teisiseõnu on pikima ja lühema leviteekonna pikkuste suhe 1,28 korda.

Ülesanne 9: Kui suur on maksimaalne sidekaugus vabas ruumis sagedusel 25 MHz, kui saatja võimsus on 20 W, vastuvõtja tundlikkus -113 dBm ja saate-ning vastuvõtuantenni võimendused on mõlemad 4dB?

Antud: $f = 25 \text{ MHz} = 2,5 \cdot 10^7 \text{ Hz}$.

$$P_S = 20 \text{ W}$$

$$P_{Vmin} = -113 \text{ dBm} = 5,01 \cdot 10^{-12} \text{ mW} = 5,01 \cdot 10^{-15} \text{ W}$$

$$G_S = G_{Vv} = 4 \text{ dB} = 2,51$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Leida: $d_{max} = ?$

Antud ülesande lahendus tugineb Friisi valemile

$$P_{Vv} = P_S G_S G_{Vv} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Meile pakub huvi sidekaugus d , seega avaldame selle friisi valemist, saades:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_S G_S G_{Vv}}{P_{Vv}}}$$

Lähteandmetes on meil antud signaali sagedus, Friisi valemis on aga sees lainepikkus. Me võime avaldada lainepikkuse sageduse kaudu $\lambda = c/f$, kus c on valguse kiirus. Kuid mõistlikum oleks siiski sagedus sidekauguse avaldisse sisse viia:

$$d = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{P_S G_S G_{Vv}}{P_{Vv}}}$$

Teatavasti on vastuvõtja tundlikkus minimaalne vastuvõetava signaali võimsus, mille juures sidelink veel nõuetele vastavalt töötab. Friisi valemist on näha, et vastuvõetava signaali võimsus on pöördvõrdeline sidekaugusega. Seega ongi maksimaalne sidekaugus d_{max} selline kaugus, mille puhul on vastuvõtja sisendis tundlikkusega P_{Vvmin} võrdse võimsusega signaal. Ehk siis meie otsiva suuruse avaldis on:

$$d_{max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{P_S G_S G_{Vv}}{P_{Vvmin}}}$$

Nagu näha, siis on osad vajalikud suurused antud logaritmilisel kujul. Üheks võimalikuks lahenduseks oleks need suurused lineaarsele kujule teisendada ja seejärel meie sidekauguse avaldisse asetada

$$d_{max} = \frac{3 \cdot 10^8}{4\pi \cdot 2.5 \cdot 10^7} \sqrt{\frac{20 \cdot 2,51 \cdot 2,51}{5,01 \cdot 10^{-15}}} = \frac{3}{\pi} \sqrt{\frac{126,19}{5,01 \cdot 10^{-15}}} = 1,52 \cdot 10^8 m = 152.000 \text{ km}$$

Vastus: Maksimaalne sidekaugus ülaltoodud tingimustel on 152.000 kilomeetrit.

Ülesanne 10: 1,2 km laiuse lagendiku ühest servast teise on loodud raadiolink töösagedusel 433 MHz. Kui kõrgel maapinnast peavad asuma saate ja vastuvõtuantenn, et esimene Fresneli tsoon oleks takistuste vaba?

Esimese Fresneli tsooni laius d_1 on leitav avaldisega

$$d_1 = \sqrt{\lambda \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}}$$

kus λ on signaali lainepikkus ja r_1 ning r_2 on vastavalt saate- ja vastuvõtuantenni kaugus kohast, kus tsooni laiust määratakse. Tsoon on maksimaalse laiusega keskkohas, kus $r_1 = r_2$. Meie ülesande korral oleks siis $r_1 = r_2 = 1200/2 = 600\text{m}$. Tsooni laius on sellisel juhul

$$d_1 = \sqrt{\frac{c}{f} \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^8}{4,33 \cdot 10^8} \frac{600^2}{1200}} = 600 \sqrt{\frac{1}{4,33 \cdot 400}} = \frac{30}{\sqrt{4,33}} = 14,42\text{m}.$$

Vastus: Antennid peavad maapinnast olema vähemalt 14,42 meetri kõrgusel.

Ülesanne 11: Sidelingis kasutatakse 32-FSK modulatsiooni, sümboli kestusega 0,25 ms. Kui suur on selle sidelingi ülekandekiirus [bitt/s]?

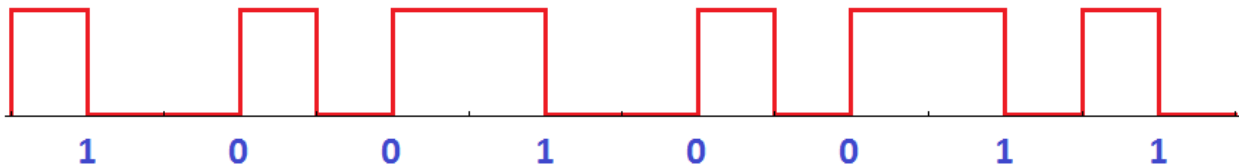
32-FSK tähendab kolmekümne kahe positsioonilist sagedusmanipulatsiooni (*Frequency Shift Keying*), ehk tegemist on digitaalse ülekandega, kus kasutatakse 32 erinevat sümbolit. Sellisel juhul sisaldab üks sümbol endas $l = \log_2(32) = 5$ bitti informatsiooni.

Kui ühe sümboli edastamiseks kulub 0,25 ms aega, siis ühes sekundis edastatakse $r = 1/2,5 \cdot 10^{-4}$ sümbolit, ehk edastuskiirus on 4000baudi. Kuna üks sümbol sisaldab viis bitti informatsiooni, siis on bitikiirus viis korda suurem $r = 20.000$ bitt/s = 20 kbit/s.

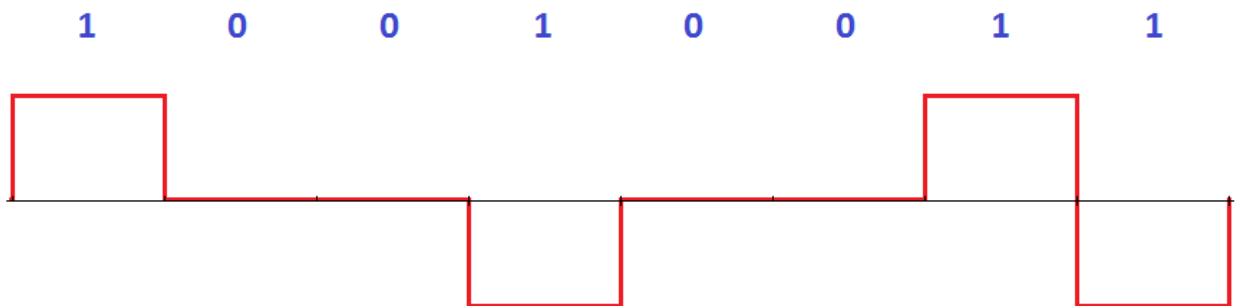
Vastus: Bitikiirus sidelingis on 20 kbitt/s.

Ülesanne 12: Skitseeri bitijadale 10010011 vastav liinikood:

Manchesteri kood:



AMI liinikood:



Ülesanne 13: Allika tähestikus A on neli sümbolit a_1, a_2, a_3 ja a_4 , vastavalt tõenäosustega $p_1 = 0,505; p_2 = 0,25; p_3 = 1/8$ ja $p_4 = 0,12$. Kui suur on selle allika entroopia $H(A)$?

Kasutame allika Shanoni entroopia avaldist

$$H(A) = \sum_{j=1}^N p(a_j) I(a_j) = - \sum_{j=1}^N p(a_j) \log_2 p(a_j).$$

$$H(A) = - \sum_{j=1}^4 p(a_j) \log_2 p(a_j) = -0,505 \log_2 0,505 - 0,25 \log_2 0,25 - 0,125 \log_2 0,125 - 0,12 \log_2 0,12 = 0,498 + 0,5 + 0,375 + 0,367 = 1,74 \text{ bitti}$$

Vastus: Allika entroopia on 1,74 bitti.

Ülesanne 14: Eelmises ülesandes antud allika A kodeerimiseks kasutati järgnevaid koodsõnu $c_1 = 1$, $c_2 = 01$, $c_3 = 001$ ja $c_4 = 0001$. Kui suured on kasutatava koodi keskmine L pikkus ja liiasus D ?

Leiame koodsõna keskmise pikkus:

$$L = \sum_{j=1}^4 p(a_j) n(a_j) = 0,505 \cdot 1 + 0,25 \cdot 2 + 0,125 \cdot 3 + 0,12 \cdot 4 = 0,505 + 0,5 + 0,375 + 0,48 = 1,86 \text{ bitti}.$$

Koodi liiasus D on võrde koodsõna keskmise pikkuse L ja entroopia H erinevusega $D = L - H = 1,86 - 1,74 = 0,12$ bitti.

Vastus: Koodsõna keskmine pikkus on 1,86 bitti ka koodi liiasus on 0,12 bitti.

Ülesanne 15: Vähemalt kui suur peab olema diskreetimissagedus, kui muundatava signaali maksimaalne sagedus on 3,4kHz?

Vastavalt Nyquist-Shannon-Kotelnikovi teoreemile peab diskreetimissagedus f_s olema vähemalt kaks korda suurem signaali maksimaalsest sagedusest f_m . Seega antud juhul peab diskreetimissagedus olema vähemalt $f_s = 2 \cdot f_m = 2 \cdot 3,4 = 6,8$ kHz.

Vastus: Diskreetimissagedus peab olema vähemalt 6,8 kHz.

Ülesanne 16: Digitaliseeritava analoogsignaali väärtus on vahemikus $\pm 3,3V$, kui suur on signaali mõõtmise täpsus, kui muundur on kaheksabitine?

Kui muundur on kaheksabitine $n_B = 8$, siis on võimalik saada $2^{n_B} = 2^8 = 256$ erinevat tulemust ehk kogu mõõdetav vahemiku $+3,3$ kuni $-3,3V$ saab jaotada $2^{n_B} - 1 = 2^8 - 1 = 255$ vahemikuks. Kui vahemike laiused võtta võrdsed, siis saame ühe vahemiku laiuseks, ehk kvantimissammu q väärtuseks

$$q = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^{n_B} - 1} = \frac{3,3 - (-3,3)}{2^8 - 1} = \frac{6,6}{255} = 0,0259V.$$

Kui minimaalne vahemik kahe tulemise vahel on q , siis mõõtetäpsuseks võib lugeda pool sellest vahemikus $\pm q/2$, mis antud juhul oleks $\pm 12,9$ mV.

Vastus: Signaali mõõtmise täpsus on $\pm 12,9$ mV.

Ülesanne 17: Arvuta neljabitine CRC sõnumist 101100111000, kui genereeriv polünoom on 0xA.

Neljabitise CRC korral on genereeriv polünoom viie biti pikkune. Genereeriva polünoomi kõrgeim bitt (MSB) on alati 1 ja neli madalaimat on meie juhul esitatud kuueteiskümnendarvuna 0xA, mis kahendkujul on vastavalt 0b1010. Seega on meie genereeriv polünoom **11010**.

Järgnevalt teostame CRC arvutuse

```
101100111000 0000
11010
011000111000 0000
11010
00010111000 0000
11010
01101000 0000
11010
0000000 0000
```

Näeme, et jääk ehk kontrollkood CRC on **0000**.

Vastus: Neljabitise CRC väärtus on **0000**.

Ülesanne 18: Kaadri sisu on järgmine: 0x7F 0x7E 0x18 0x7D. Kirjuta see välja bittidena enne ja pärast bit stuffing'u teostamist.

Kaadri sisu enne: 01111111 01111110 00011000 01111101

Kaadri sisu peale farssbittide lisamist: 011111011 011111010 00011000 011111001

Ülesanne 19: Kirjuta eelmises ülesandes antud kaadri sisu välja peale HDLC protokollireeglite järgi Byte stuffing'u teostamist.

Kaadri sisu enne: 0x7F 0x7E 0x18 0x7D

Kaadri sisu pärast: 0x7F 0x7D 0x5E 0x18 0x7D 0x5D

Ülesanne 20: Kuupsatelliidiga side pidamiseks kasutatakse *stop-and-wait* vookontrolli. Andmeedastuskiirus on 9600 bit/s, vahemaa satelliidist maajaamani muutub 3200-400 km. Andmepaketi pikkus on 256 baiti ja kinnituse oma 4 baiti. Millisesse vahemikku jääb keskmine andmeedastuskiirus? Lihtsuse mõttes eeldame, et kanalis vigu ja lisaviiteid ei teki.

Andmepaketi (kaadri) edastamiseks kuluv aeg $\tau = 256 \cdot 8 / 9600 = 0,213$ s. Analoogiliselt saame leida kinnituse ACK edastamiseks kuluva aja $\tau_{ACK} = 4 \cdot 8 / 9600 = 3,33 \cdot 10^{-3}$ s.

Leviaeg maajaamast satelliidini või vastupidi, sõltub kahe mainitu vahekaugusest ja signaali levimise kiirusest. Kuna antud juhul toimub edastus vabas ruumis ja raadiolainete vahendusel on levikiiruseks valguse kiirus $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Leviaege on minimaalne, kui vahekaugus on 400 km võrdues $t_{leviMin} = 4 \cdot 10^5 / 3 \cdot 10^8 = 1,33 \cdot 10^{-3}$ s. Maksimalne leviaege oleks vastavalt $t_{leviMax} = 3,2 \cdot 10^6 / 3 \cdot 10^8 = 1,07 \cdot 10^{-2}$ s.

Seega ühe kaadri edastamiseks kulub aega vahemikus $t_{min} = \tau + \tau_{ACK} + 2 \cdot t_{leviMin}$ kuni $t_{max} = \tau + \tau_{ACK} + 2 \cdot t_{leviMax}$. Arvuliselt siis $t_{min} = 0,219$ s kuni $t_{max} = 0,238$ s. Selle aja jooksul edastatakse kokku 256 baiti ehk 2048 bitti.

Kui 2048 biti edastamiseks kulub aega $t_{min} = 0,219$ s on keskmine edastuskiirus $r = 2048/0,219 = 9352$ bit/s. Kui ajakulu on $t_{max} = 0,238$ s saame edastuskiiruseks 8605 bit/s.

Vastus: Keskmine andmeedastuskiirus jääb vahemiku 8605 kuni 9352 bit/s.

Ülesanne 21: Kodeeri Hammingi (7,4) koodi kasutades sõnum $\mathbf{d} = 1001$.

Paigutame alguses sõnumi bitid koodsõnas neile vastavatele kohtadele. Puuduvaid paarsusbitte tähistame esialgu kriipsudega „_“: $\mathbf{c} = 100_1_$

Järgnevalt leiame ükshaaval paarsusbitid ja lisame koodsõnas \mathbf{c} neile määratud kohtadele.

$$p4 = d7 + d6 + d5 = 1+0+0 = 1 : \mathbf{c} = 10011_$$

$$p2 = d7 + d6 + d3 = 1+0+1 = 0 : \mathbf{c} = 100110_$$

$$p1 = d7 + d5 + d3 = 1+0+1 = 0 : \mathbf{c} = 1001100$$

Vastus: Koodsõna $\mathbf{c} = 1001100$

Ülesanne 22: Vastu võeti koodsõna $\mathbf{c} = 1011110$, milline oli edastatud sõnum \mathbf{d} ?

Esmalt leiame sündroomi $\mathbf{s} = \{A,B,C\}$

$$A = p4 + d7 + d6 + d5 = 1+1+0+1 = 1$$

$$B = p2 + d7 + d6 + d3 = 1+1+0+1 = 1$$

$$C = p1 + d7 + d5 + d3 = 0+1+1+1 = 1$$

Sündroom $\mathbf{s} = 111 = 7_{10}$ seega vigane on bitt number 7, ehk edastatud koodsõna \mathbf{c} oli 0011110. Eemaldades parandatud koodsõnast paarsusbitid $p1$, $p2$ ja $p4$ jääb järele edastatud sõnum $\mathbf{d} = 0011$.

Vastus: Edastatud sõnum oli $\mathbf{d} = 0011$.

Ülesanne 23: Kui palju on 2,4 GHz sagedusega WiFi signaal sumbunud tugijaamast 300 m kaugusel? Kui palju sumbub samal kaugusel 5,2 GHz sagedusega signaal?

Ülesande lahendamiseks on mitu võimalust. Võib kasutada vaba ruumi kao avaldist nii kordades, kui detsibellides või 10. loengu slaidil number 5 toodud tabelit.

Vaba ruumi kao avaldis detsibellides on:

$$FSL = 20\log(d) + 20\log(f) - 147,55 \text{ [dB]}$$

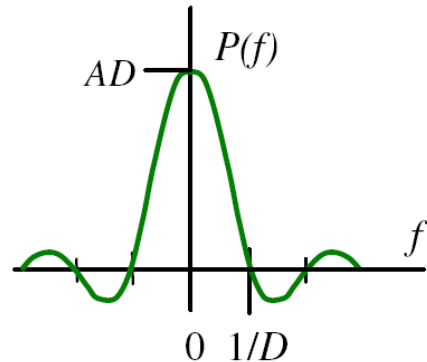
Asetades avaldisse sageduse $f = 2,4 \cdot 10^9$ Hz ja kauguse $d = 300$ m, saame otsitavaks kaoks

$$FSL = 20\log(300) + 20\log(2,4 \cdot 10^9) - 147,55 = 89,6 \text{ dB}$$

Leidmaks sumbumust sagedusel 5,2 GHz, võime kasutada sama valemit. Kuid lihtsam on leida, et sagedus 5,2 GHz on sagedusest 2,4 GHz suurem $5,2/2,4 = 2,1(6)$ korda. Leides, et $20 \cdot \log(2,16) = 6,7\text{dB}$ saame, et samal kaugusel on sumbumus sagedusel 5,2 GHz 6,7 dB suurem ehk $89,6 + 6,7 = 96,3$ dB

Vastus: Sumbumus sagedusel 2,4 GHz on 89,6 dB ja sagedusel 5,2 GHz 96,3 dB.

Ülesanne 24: Edastuskanalis mõõdeti bitijada spektrit. Mõõtmiste käigus selgus, et esimene nullkoht paiknes sagedusel 115,2kHz ja spektraaltiheduse maksimaalne väärtus oli $2,86 \cdot 10^{-5}$ V/Hz. Kui suur on bitikiirus r antud kanalis ja kui suur on edastatavate impulsside amplituud A ?



Joonis 24.1. Bitijada spekter [A. Meister]

Esimese nullkoha asukoht $f_0 = 1/D$ on võrdne edastuskiirusega r kanalis, seega edastuskiirus $r = 115,2$ kbitt/s. Spektraaltiheduse maksimaalne väärtus on kohal $f = 0$ olles seal võrdne $P(0) = AD = A/r$. Viimasest saame avaldada impulsside amplituudi, mis võrdub $A = r \cdot P(0) = 115200 \cdot 2,86 \cdot 10^{-5} = 3,295$ V.

Vastus: Bitikiirus kanalis on 115200 bitt/s ja impulsside amplituud on 3,3 V.

Ülesanne 25: Diskreetne signaal $f[m]$ omab järgmisi väärtuseid $f[0] = 1, f[1] = 1$ ja $f[2] = -1$, kõik ülejäänud $f[m]$ väärtused on võrdsed nulliga. Arvuta signaali autokorrelatsioonifunktsioon. Esita tulemus graafiku või tabelina.

Kuna tegemist on reaalfunktsiooni autokorrelatsiooniga saame selle arvutada järgneva avaldise alusel.

$$R[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]f[m+n]$$

Kuna funktsioon omab mittenulliseid väärtuseid ainult väärtustel $m = 0, 1$ ja 2 , siis on tulemus ise mittenulline n väärtustel vahemikus -2 kuni 2 . Korrelatsiooni arvutamine on alljärgnevas tabelis sammhaaval välja toodud:

$n = -3$	m	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	$R[-3]$
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m-3]$	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	

	$f[m] \cdot f[m-3]$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
--	---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$n = -2$	m	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	$R[-2]$
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m-2]$	0	0	0	0	0	1	1	-1	0	
	$f[m] \cdot f[m-2]$	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1

$n = -1$	m	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	$R[-1]$
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m-1]$	0	0	0	0	1	1	-1	0	0	
	$f[m] \cdot f[m-1]$	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0

$n = 0$	M	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	$R[0]$
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m] \cdot f[m]$	0	0	0	1	1	1	0	0	0	3

$n = 1$	M	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	$R[1]$
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m+1]$	0	0	1	1	-1	0	0	0	0	
	$f[m] \cdot f[m+1]$	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0

$n = 2$	M	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	$R[2]$
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m+2]$	0	1	1	-1	0	0	0	-0	0	
	$f[m] \cdot f[m+2]$	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1

$n = 3$	M	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	$R[3]$
	$f[m]$	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	
	$f[m+3]$	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	
	$f[m] \cdot f[m+3]$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nagu tehtud arvutustest ka näha on, on autokorrelatsioon sümmeetriline funktsioon $R[-n] = R[n]$, seega tegelikult piisaks ainult ühe poole arvutamisest, teine on sellega sümmeetriline. Ehk antud ülesande korral oleks vaja leida ainult $R[n]$ kohtadel -2, -1 ja 0 või 0, 1 ja 2. Tulemus on antud järgnevas tabelis:

n	-2	-1	0	1	2
$R[n]$	-1	0	3	0	-1

Ülesanne 26: IEEE 802.11a standardi korral on MCS = 7 korral andmeedastuskiirus 18 Mbit/s (vt tabel slaidil 35). Näita arvutuslikult, kuidas selline kiirus saavutatakse (Sümboli kestus, kanalite arv jne..).

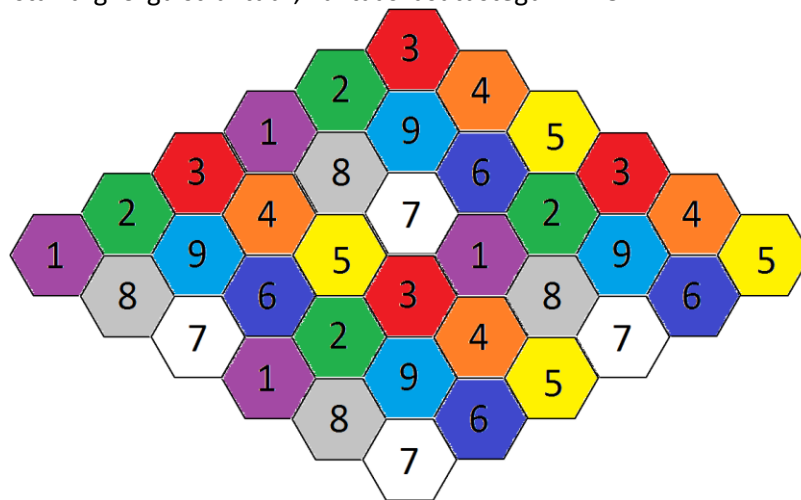
IEEE 802.11a standardis kasutatakse andmete ülekandeks 48 andmesidekanalit. Sümboli kestus on $3,2 \mu\text{s}$ ja sümbolite vahel on lisaks $0,8 \mu\text{s}$ pikkune paus. Kui MCS (*Modulation and Coding Scheme*) väärtus on seitse, siis näeme tabelist, et igas kanalis kasutatakse QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) modulatsiooni

ja konvolutsioonilise koodi kiirus on $\frac{3}{4}$. QPSK modulatsiooni korral edastatakse igas kanalis ühte $M = 4$ erinevast sümbolist, seega igas kanalis edastatakse $\log_2(M) = \log_2(4) = 2$ bitti. Koodi kiirus $k/n = \frac{3}{4}$ tähendab, et iga $k = 3$ andmebiti kohta lisatakse $n-k = 1$ paarsusbitt.

Kõike ülal toodud arvesse võttes leiame esmalt sümbolikiiruse. Üks sümbol koos vahepausiga kestab $3,2 + 0,8 = 4 \mu\text{s}$, seega sümbolikiirus $r = 1/4 \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot 10^5$ baud. Iga sümboli sees on 48 sageduskanalit milles igas edastatakse korraga kahte bitti, seega ühes sümbolis on $48 \cdot 2 = 96$ bitti.

Nüüd saame leida bitikiiruse $r_b = 2,5 \cdot 10^5 \cdot 96 = 2,4 \cdot 10^7$ bitt/s. Järgnevalt leiame kui suur osa sellest kiirusest on kasutusel kasutaja andmete edastamiseks. Kuna koodi kiirus on $\frac{3}{4}$ siis iga neljas bitt on paarsusbitt ja seega andmebittide osakaal on $\frac{3}{4}$, korrutame bitikiiruse selle konstandiga läbi ja saame tulemuseks $1,8 \cdot 10^7$ bitt/s ehk 18 Mbitt/s.

Ülesanne 27: Joonista kärgvõrgu struktuur, kui taaskasutustegur $N = 9$.



Joonis 27. Kärgvõrgu struktuur, kui $N = 9$

Ülesanne 28: GSM1800 sagedusalas kasutatakse kanaleid järjekorranumbritega (ARFCN) 512-885. Üleslingi kanali sagedus on määratud avaldisega $f_{UL} = 1710,2 + 0,2 \cdot (ARFCN - 512)$. Üleslingi sagedus on allalingi omast 95MHz kõrgem. Milliseid sagedusvahemike kasutatakse kogu üleslingi ulatuses ja milliseid kogu allalingi ulatuses? Mis sagedustel töötab kanal numbriga 790?

Kui kanali number muutub vahemikus 512 kuni 885, siis üleslingi jaoks kasutatav sagedusvahemik on $1710,2 + 0,2 \cdot (512 - 512)$ kuni $1710,2 + 0,2 \cdot (885 - 512)$ ehk 1710,1 kuni 1784,8 MHz. Kui üleslingi sagedus on allalingi omast 95 MHz kõrgem, siis järelikult kasutatakse allalingi jaoks sagedusvahemiku 1710,1 - 95 kuni 1784,8 - 95 ehk 1615,1 kuni 1689,8 MHz.

Kanal numbriga 790 töötab sagedustel $f_{UL} = 1710,2 + 0,2 \cdot (790 - 512) = 1765,8$ MHz ja $f_{DL} = 1670,8$ MHz.

Ülesanne 29: Kui kaugel tugijaamast asub GSM mobiilterminal, kui TA väärtus on 12? Kui suur on kauguse suhteline täpsus selles asukohas? Kui kaugele levib signaal mobiilterminalist tugijaamani ja tagasi?

TA number vastab 550m pikkusele lõigule, seega $TA = 12$ vastab kaugusele 6600m, ehk 6,6km. Kuna TA samm on 550m, siis täpsuseks võib lihtsamas käsitluses lugeda pool sellest vahemaast, ehk ± 275 m.

Vahemaa mobiiltelefonini on 6,6 km, seega edasi tagasi on teepikkus kaks korda nii suur, ehk $l = 13,2 \text{ km} = 1,32 \cdot 10^4 \text{ m}$. Raadiosignaali levib õhus praktiliselt valguse kiirusega $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Seega edasi-tagasi leviaeg on $t = l/c = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 44 \text{ } \mu\text{s}$.

Ülesanne 30: 3G võrgus on ASU = 22, kui suur on vastuvõetava signaali võimsus W ?

Vastuvõetud signaali võimsus on $P[\text{dBm}] = -113 + 2 \cdot \text{ASU}$, seega $P = -113 + 2 \cdot 22 = -69 \text{ dBm}$. Kuna vastust soovitakse lineaarsetes ühikutes, siis teisendame dBm'id esmalt millivattideks. $P = 10^{-69/10} = 10^{-6,9} = 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ mW}$, kuna üks mW = 10⁻³W siis võimsus vattides on $1,26 \cdot 10^{-10} \text{ W}$.

Vastus: Vastuvõetava signaali võimsus on $1,26 \cdot 10^{-10} \text{ W}$ (126 pW).

Ülesanne 31: Mobiilsidevõrk koosneb 64 kärjest, igaüks raadiusega 1,2 km. Võrgu kasutuses on kokku 396 sidekanalit ja taaskasutustegur $N = 9$. Kui suur on selle võrgu maksimaalne geograafiline katteala (km^2), kui palju kanaleid saab ühes kärjes kasutada ja kui suur on kanalite koguhulk võrgus?

Kui me eeldame, et kärjed on ringikujulised, siis on ühe leviala pindala $A = \pi r^2 = 3,14 \cdot 1,2^2 = 4,52 \text{ km}^2$. Kuna kärji on kokku 64, siis on kogu võrgu leviala pindala vastavalt 64 korda suurem võrdudes $289,4 \text{ km}^2$. Realistlikuma tulemuse saame, kui eeldame, et kärje kuju on kuusnurkne. Kuusnurga pindala on

$$A = \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 \approx 2,59 r^2,$$

ehk ühe kärje pindala on $3,73 \text{ km}^2$ ja kogu võrgu oma $238,7 \text{ km}^2$.

Kuna meil on kokku kasutada 396 kanalit ja taaskasutustegur on 9, siis saab keskmiselt ühes kärjes kasutada $396/9 = 44$ kanalit. Kogu võrgu peale teeb see siis kokku $44 \cdot 64 = 2816$ sidekanalit.

Ülesanne 32: Sagedustihendust kasutavas mobiilvõrgus on operaatorile eraldatud 25 MHz laiune sagedusala. Kui suur on ühe kanali ribalaius, kui antud sagedusalas on 400 kanalit ja kanalite vahel on 8 kHz laiused puhveralad.

Kui meil on n kanalit, siis nende vahele jääb $n - 1$ puhverala. Meie juhul siis 400 kanali vahele 399 puhvertsooni, igaüks laiusega 8 kHz, seega võtavad puhvertsooni kokku $399 \cdot 8 = 3192 \text{ kHz}$. Seega jääb 400 kanali jaoks ruumi kokku $25000 - 3192 = 21808 \text{ kHz}$, mis teeb ühe kanali ribalaiuseks $B = 21808/400 = 54,5 \text{ kHz}$.

Vastus: Ühe kanali ribalaius on 54,52 kHz.