

Harjutus 1

Shannoni valem

IEE1100 Arvutivõrgud

Signaali ja müra võimsused

- Võimsus näitab ajaühikus tehtavat tööd või **ülekanavat energiahulka**.
- Võimsuse tähiseks on P (elektrilise) mõõtühikuks on W (vatt).
- Signaali võimsust tähistame S ja müra oma N .
- Ühikud W (vatt), tavaliselt signaalitöötluses mW või logaritmiline ühik dBm (detsibell 1 millivati kohta)
- Teisendusvalemid:

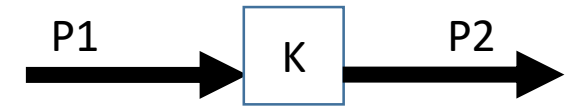
$$P[mW] = 10^{\frac{P[dBm]}{10}}$$

$$P[dBm] = 10 \cdot \log(P[mW])$$

Võimsuste ja signaal-müra suhe

- Võimsuste suhet mõõdetakse detsibellides [dB]

$$P_2 = K \cdot P_1 \qquad K[\text{dB}] = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$$



- Signaal-müra suhe SNR[dB] ja kordades S/N

$$SNR[\text{dB}] = S[\text{dBm}] - N[\text{dBm}] \qquad \frac{S[\text{W}]}{N[\text{W}]}$$

Ülesanded 1

1. Signaal-müra suhe on 200 korda, mitu dB see on?
2. Signaali võimsus on -60 dBm, mitu mW see on?

Ülesanded 2

3. Müra võimsus on $N = -135$ dBm ja signaal müra suhe on 500 korda. Kui suur on signaali võimsus S ? Vastus anda nii vattides kui dBm-ides.
4. Võimendi võimendus on 13 dB ja tema sisendis on signaal võimsusega 4 dBm, kui suur on võimendi väljundvõimsus W ? Mitu korda võimendi signaali võimsust suurendab?
5. Raadiosaatja väljundvõimsus on $P_2 = 5$ W, signaali võimsus vastuvõtja sisendis on $P_1 = -109$ dBm. Kui suur on sumbumus kanalis? Vastus anda kordades ja detsibellides.

Sagedus, spekter, ribalaius

- Sageduse mõõtühik on Hz, näitab võngete arvu ühes sekundis[s⁻¹].
- Levinuimad detsimaalliited:
 - 1kHz = 1000 Hz
 - 1MHz = 10⁶ Hz
 - 1GHz = 10⁹ Hz
- Signaali ribalaius B (*bandwidth*) on signaali spektris oleva kõrgeima ja madalaima sageduse erinevus [Hz]:

$$B = f_{\max} - f_{\min}$$

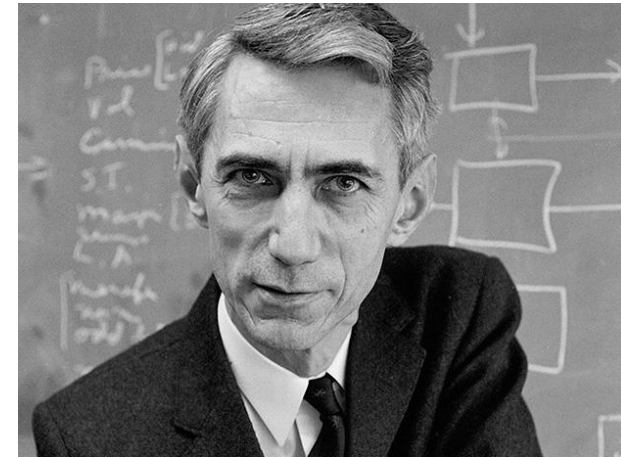
- Ribalaiuseks (*bandwidth*) nimetatakse mõnikord ka kanali edastuskiirust [bitt/s]

Shannoni valem

- Sidekanali maksimaalne teoreetiline läbilaskevõime C :

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ [bitt/s]}$$

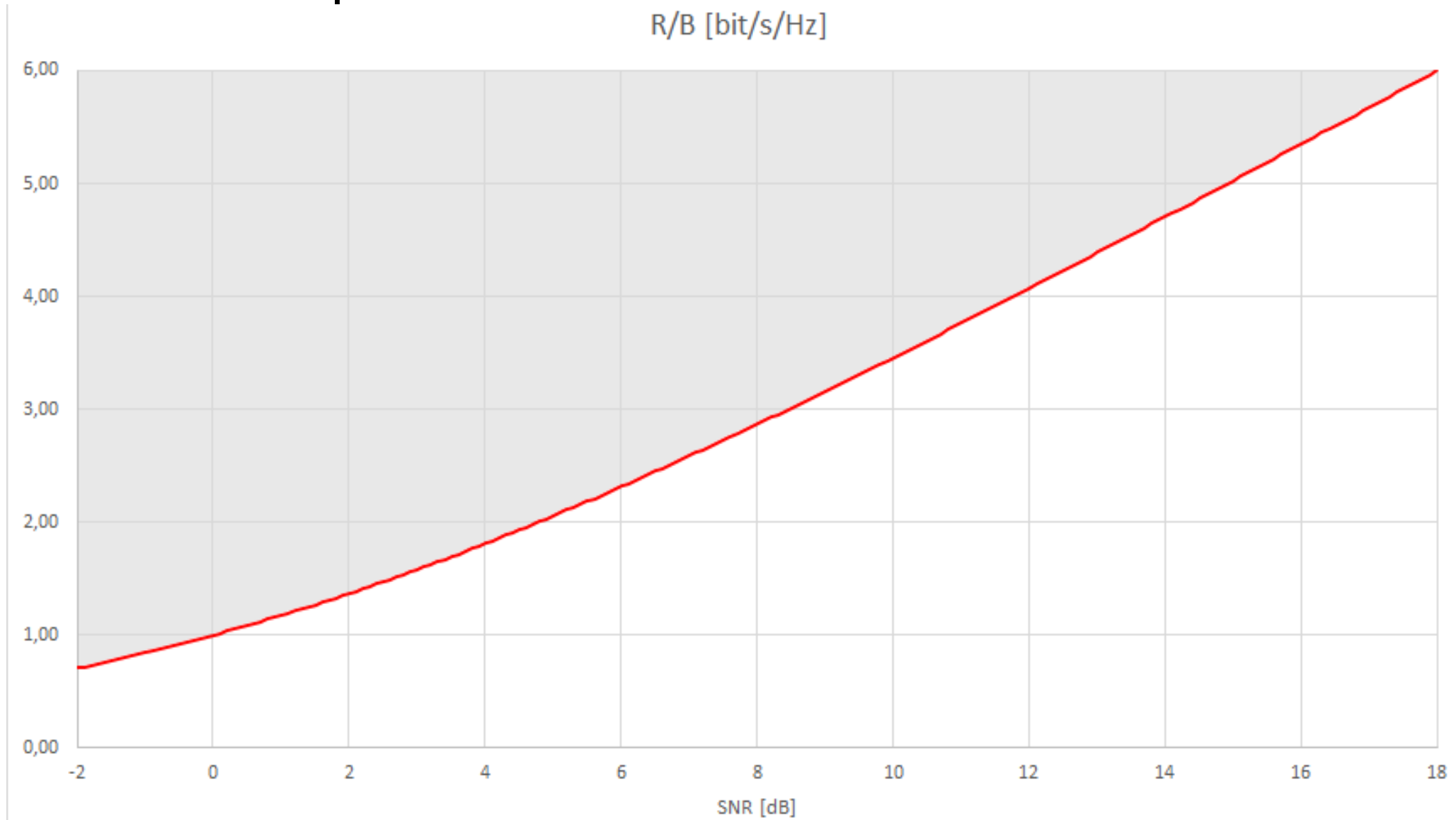
- B – kanali ribalaius [Hz]
- S – Signaali võimsus [W]
- N – Müra võimsus [W]



Ülesanded 3

6. Lühilainel edastatakse andmeid kanalis mille alumine sagedus on 9,350 ja ülemine 9,353 MHz. Signaal- müra suhe vastuvõtjas on 12dB. Kui suur on maksimaalne teoreetiline edastuskiirus selles kanalis?
7. Signaali võimsus on 0,8mW müra oma aga $7,6 \cdot 10^{-5}$ W. Kui suur on maksimaalne võimalik edastuskiirus kanalis ribalaiusega 200kHz.
8. Kui suur peab olema signaal-müra suhe kanalis ribalaiusega 6,25 kHz, et edastada andmeid kiirusega 25000 bitt/s ?

Shannoni piir



Logaritmi omadused

- Korrutamise ja jagamise teisendamise liitmiseks ja lahutamiseks:

$$\log_a (x \cdot y) = \log_a (x) + \log_a (y)$$

$$\log_a (x / y) = \log_a (x) - \log_a (y)$$

- Astendaja toomine logaritmi ette:

$$\log_a (x^y) = y \log_a (x)$$

- Suvalise alusega logaritmi leidmine (kahendlogaritmi arvutamine):

$$\log_a (x) = \frac{\log_b (x)}{\log_b (a)}$$

Mõningad logaritmide väärtuseid

- $\log_{10} 0 = -\infty$

Logaritmilisel skaalal ei saa nulli kujutada

- $\log_{10} 1 = 0$

- $\log_{10} 2 = 0,3010$

Kahekordne erinevus on 3dB

- $\log_{10} 3 = 0,477$

- $\log_{10} 5 = 0,699$

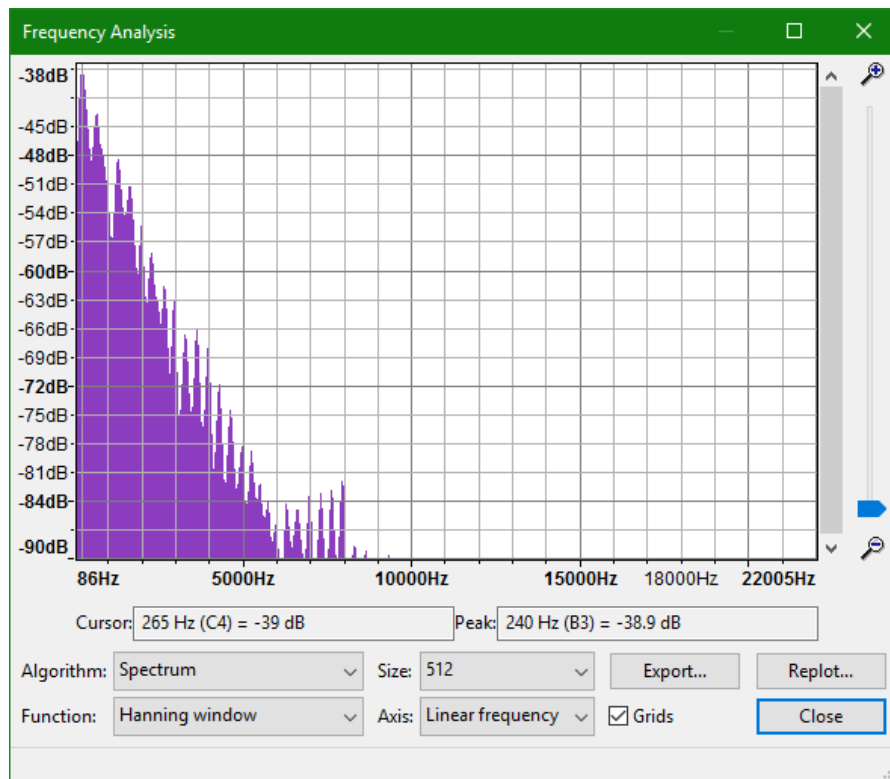
- $\log_{10} 10 = 1$

Kümnekordne erinevus on 10dB

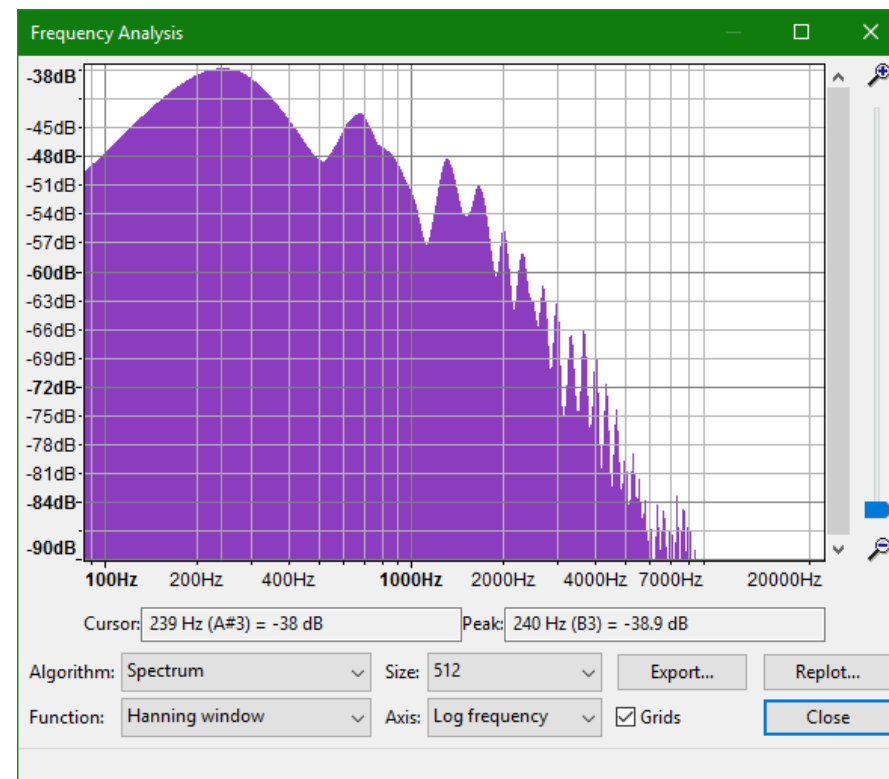
- $\log_{10} 100 = 2$

Näide: Lineaarne- vs logaritmiline skaala

lineaarne



logaritmiline



Ülesannete vastused:

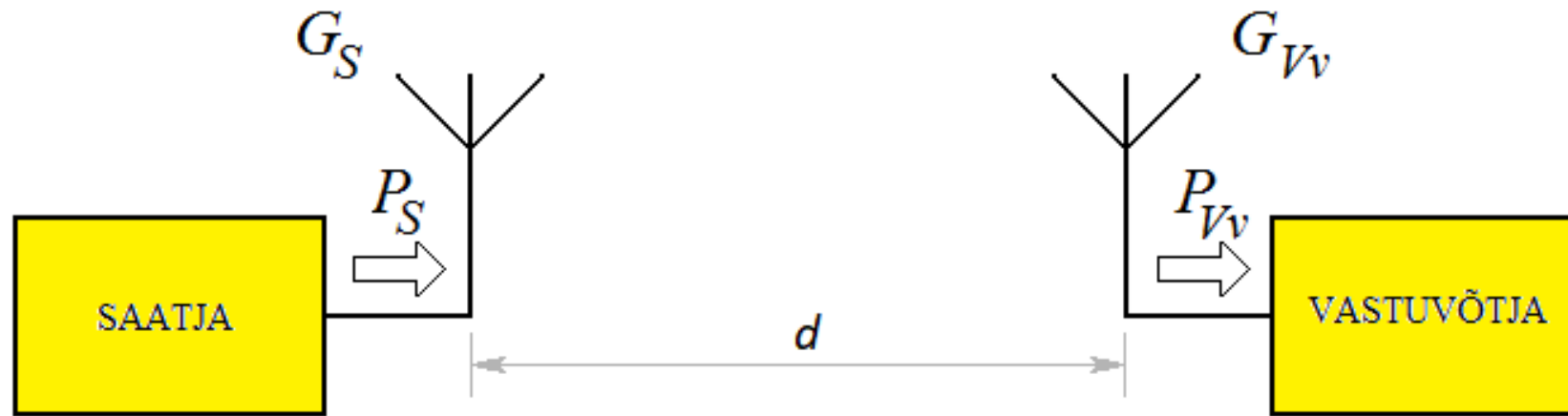
1. $SNR = 23 \text{ dB}$
2. $S = 10^{-6} \text{ mW}$
3. $S = -108 \text{ dBm} = 1,58 \cdot 10^{-14} \text{ W}$
4. $g = 20; P_v = 0,05 \text{ W}$
5. $K = 146 \text{ dB} = 3,98 \cdot 10^{14}$
6. $C = 12,21 \text{ kbitt/s}$
7. $C = 705,37 \text{ kbitt/s}$
8. $S/N = 15; SNR = 11,76 \text{ dB}$

Harjutus 3

Raadiokanal

IEE1100 Arvutivõrgud

Friisi valem



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

$$G [dBi] = 10 \cdot \log(g)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ülesanded



- 1.) Motorola VX-2000 raadiosaatja väljundvõimsus on 50 W ja tundlikkus $-4 \text{ dB}\mu\text{V}$ (sisendimpedants 50Ω). Kui suure vahemaa taha saaks kahe sellise raadio vahel, töösagedusel 165 MHz, teoreetiliselt sidet pidada? Siinjuures eeldame et jaamade vahe on otsenähtavus ja täiendavad kaod kanalis puuduvad ja mõlema antenni võimendus on 5,2 dBi.
- 2.) Kui palju muutuks sidekaugus, kui töösageduseks seada 135 MHz?

Lingi bilanss

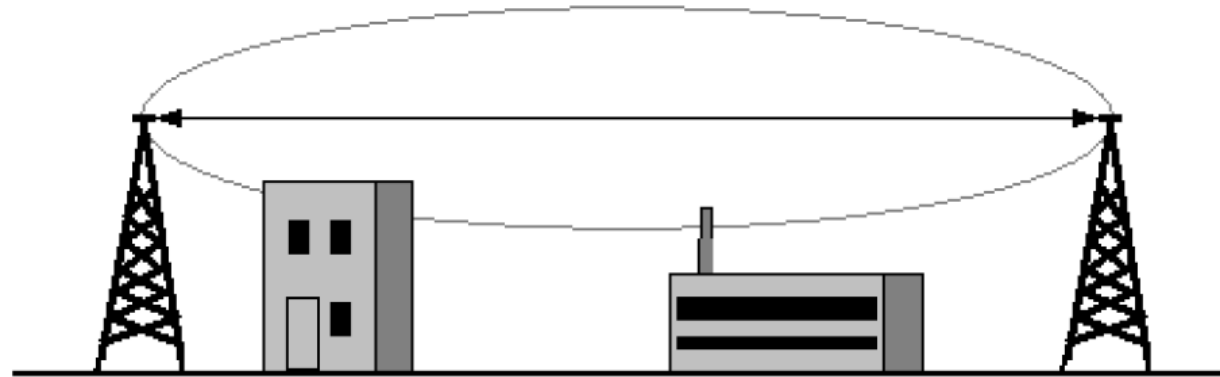
- Friisi valemi esitus logaritmilisel kujul:
 - Saatja võimsus P_S [dBm]
 - Võimsus vastuvõtja sisendis P_{VV} [dBm]
 - Mõnikord kasutatakse võimsuse mõõtühikuna ka dBW
 - Saate G_S - ja vastuvõtuantenni G_{VV} võimendused [dBi]
 - Ekvivalentne isotroopne kiirgusvõimsus $EIRP = P_S + G_S$
 - Vaba ruumi kadu FSL [dB]

$$FSL = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

- Muud kaod L [dB]

$$P_{VV} = P_S + G_S + G_{VV} - FSL - L$$

Fresnelli tsoonid



- Esimese Fresnelli tsooni raadius on leitav valemiga:

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

- Vähemalt 60 % Fresnelli tsoonist peaks olema takistuste vaba.
- Soovitav on, et takistuste vaba oleks vähemalt 80% tsoonist.

Ülesanded

3.) 5 GHz sagedusel töötava raadioreleelingi pikkus on 10 km ja lingi mõlemas otsas on antennid võimendusega 17 dBi. Milline on minimaalne vajalik saatevõimsus P_s , kui on vastuvõtja tundlikkus on -97dBm

4.) Kui kõrgete mastide otsas peaksid antud antennid asuma, et maapind jääks esimesest Fresnelli tsoonist täielikult välja?

5.) Kui kõrged peaksid mastid olema, kui arvestame asjaoluga, et maapind pole tegelikult lame vaid Maa on ligikaudu kerakujuline raadiusega 6371 km?

Bitivea tõenäosus

- Digitaalse andmeedastuse kvaliteeti iseloomustab ülekandel tekkinud vigade arv. Mida väiksem on bitiveavea tõenäosus P_b , seda kvaliteetsem on ülekanne.
- Bitivigade tõenäosus sõltub signaal-müra suhtest S/N vastuvõtjas.
- Digitaalsel edastusel kasutatakse suhte S/N asemelt tihtipeale biti energia E_b [J] suhet valge müra võimsuse spektraaltihedusse η [W/Hz]. Kaks suurust on omavahel seotud spektraalefektiivsuse ρ [bitt/s/Hz] kaudu:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{\eta} \cdot \rho$$

- Konkreetne seos E_b / η ja P_b vahel sõltub kasutatavast modulatsiooni- viisist ning demoduleerimise teostamise viisist.

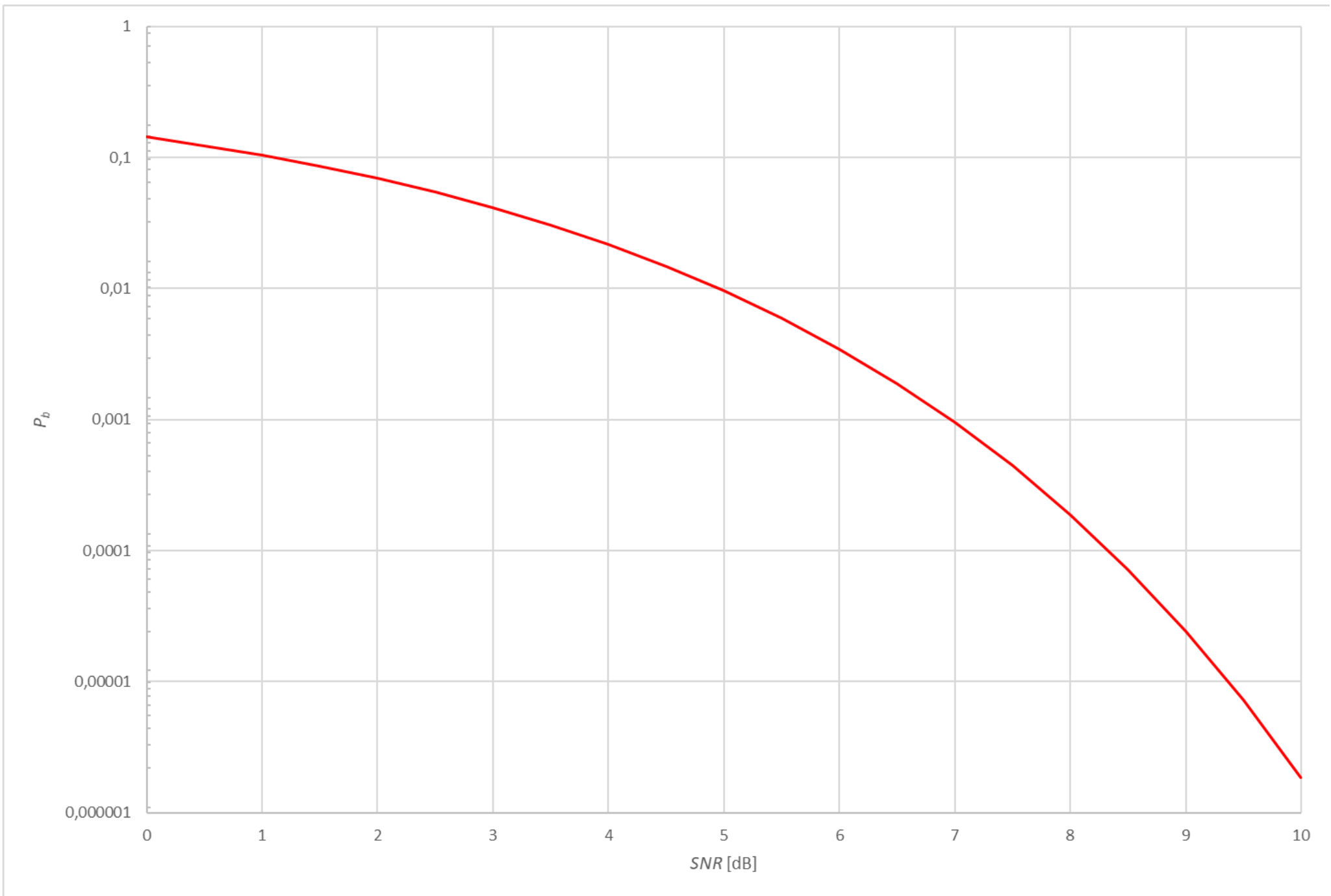
Ülesanded

Binaarset sagedusmanipulatsiooni kasutades edastatakse 24 kHz ribalaiusega kanalis andmeid kiirusega 9,6 kbitt/s. On teada, et FSK mittekoherentsel vastuvõtul on bitivea tõenäosus leitav avaldisega:

$$P_b = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_b}{2\eta}}$$

6.) Kui suur on bitivea tõenäosus, kui signaal-müra suhe on 7 dB?

7.) Kui palju peab signaal-müra suhet suurendama, et bitivea tõenäosus väheneks kümme korda?



Ülesannete vastused:

- 1.) 38000 km
- 2.) Sidekaugus suureneks 1,22 korda 46486 km-ni
- 3.) -4,6 dBm ehk 0,35 mW
- 4.) Vähemalt 12,25 m kõrgused
- 5.) 14,2 m kõrgused
- 6.) $9,65 \cdot 10^{-4}$
- 7.) Suurendama 1,37 korda ehk 1,36 dB võrra.

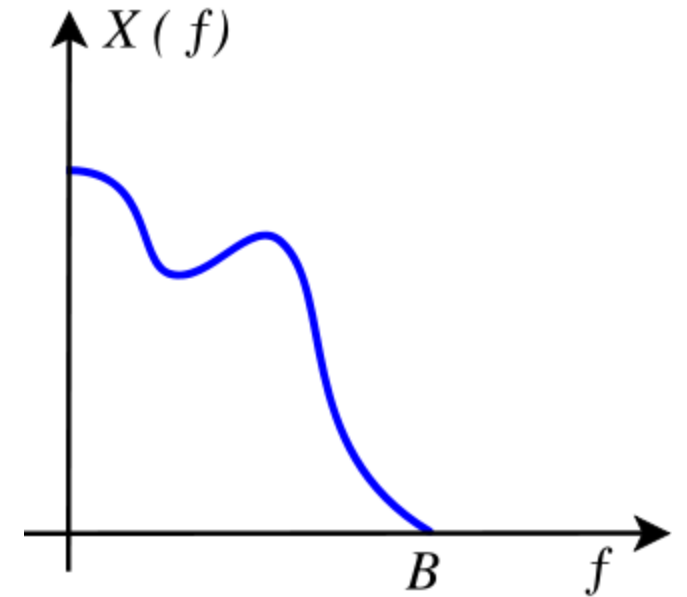
Harjutus 2

Diskreetimine ja kvantimine

IEE1100 Arvutivõrgud

Diskreetimine

- Diskreetimine: (analoog)signaali väärtuste fikseerimine kindlatel ajahetkedel.
- Ajas pidev signaal $s(t)$ muudetakse diskreetseks $s(n \cdot \Delta t)$. Signaali väärtus jääb ikka pidevaks.
- Nyquist-Shannon-Kotelnikovi-Whittaker teoreem:
 - Kui signaali $s(t)$ ribalaius on B hertsi, siis on see signaal täielikult määratud diskreetsete väljavõtetega ajavahemike $1/2B$ sekundi tagant.
 - Vajalik diskreetimissamm $\Delta t \leq 1/(2B)$
 - Põhiriba signaali korral diskreetimissagedus $f_s \geq 2 \cdot f_m$

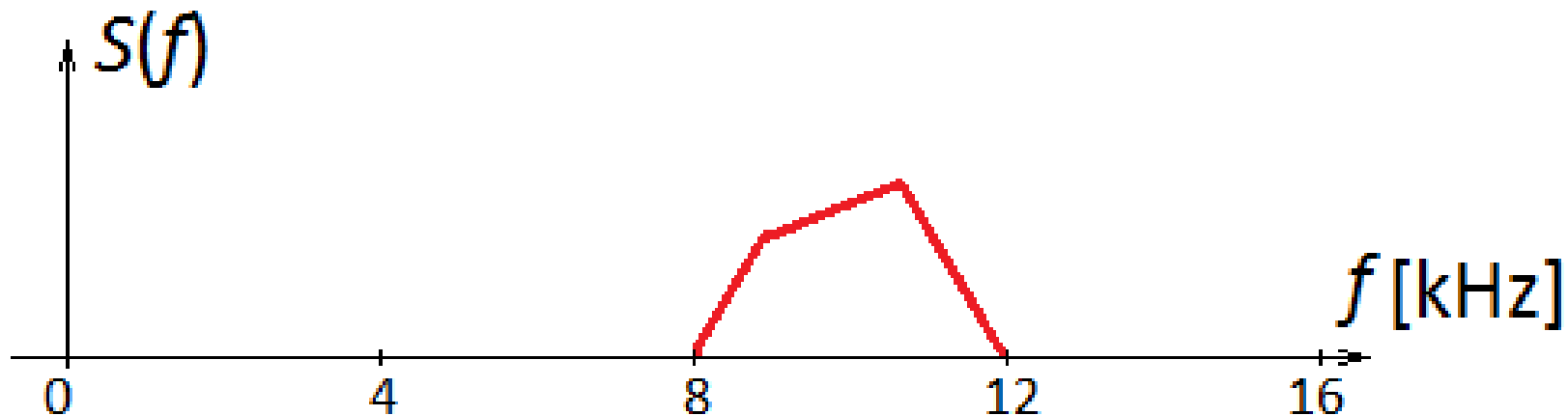


Aliased



Ülesanded 1

1. Leida signaali $u(t) = 15\sin(6\pi t)$ diskreerimiseks vajalik diskreetimissamm Δt .
2. Leia signaali $s(t) = 3,7\cos(3,08 \cdot 10^4 t) + 1,7\cos(2,18 \cdot 10^4 t)$ diskreerimiseks vajalik minimaalne diskreetimissagedus f_s ja sellele vastav diskreetimissamm Δt .
3. Joonisel on kujutatud signaali spekter, leida selle digitaliseerimiseks vajalik diskreetimissagedus ja -samm.



Kvantimine

- Signaali väärtus diskreetsetel ajahetkedel $s(n \cdot \Delta t)$ mõõdetakse mingi lõpliku täpsusega $\pm q/2$ ja salvestatakse digitaalsel kujul bittide arvuga n_B .
- Kvantimissammu q suurus on määratud bittide arvuga n_B ja sisendpinge maksimaalse muutumisvahemikuga U_{pp} ($-U_m \dots U_m$)

$$q = \frac{U_{pp}}{2^{n_B} - 1} \approx \frac{U_{pp}}{2^{n_B}} = \frac{U_m}{2^{n_B - 1}}$$

- Kvantimisega kaasneb alati pöördumatu informatsioonikadu, mida iseloomustab kvantimismüra võimsusega

$$N = \frac{q^2}{12}$$

- Maksimaalne signaal-kvantimismüra suhe:

$$SNR \approx 6 \cdot n_B + 4,7 \text{ [dB]}$$

Ülesanded 2

4. Mitu bitti on vaja signaali $s(t) = 15\sin(6\pi t)$ väärtuste salvestamiseks täpsusega $q = 25 \text{ mV}$?
5. Kui suure võimsusega kvantimismüra tekib, kui kuuebitise analoog-digitaalmuunduriga digitaliseerida signaali, mille pinge on vahemikus $\pm 1,27 \text{ V}$?
6. Kui suur on signaal-kvantimismüra suhe, kui eelmises ülesandes antud muunduriga muundada siinussignaali amplituudiga $0,5\text{V}$?
7. Kõnesignaali kvantitakse tavaliselt kaheksabitise muunduriga. (kõnesignaali muunduri väljund on 8 bitti) Kui suur on signaali – kvantimismüra suhe sellisel juhul? Vastus esitada nii detsibellides, kui kordades.

A –seadus (G.711 koodek)

- $A = 87,6$

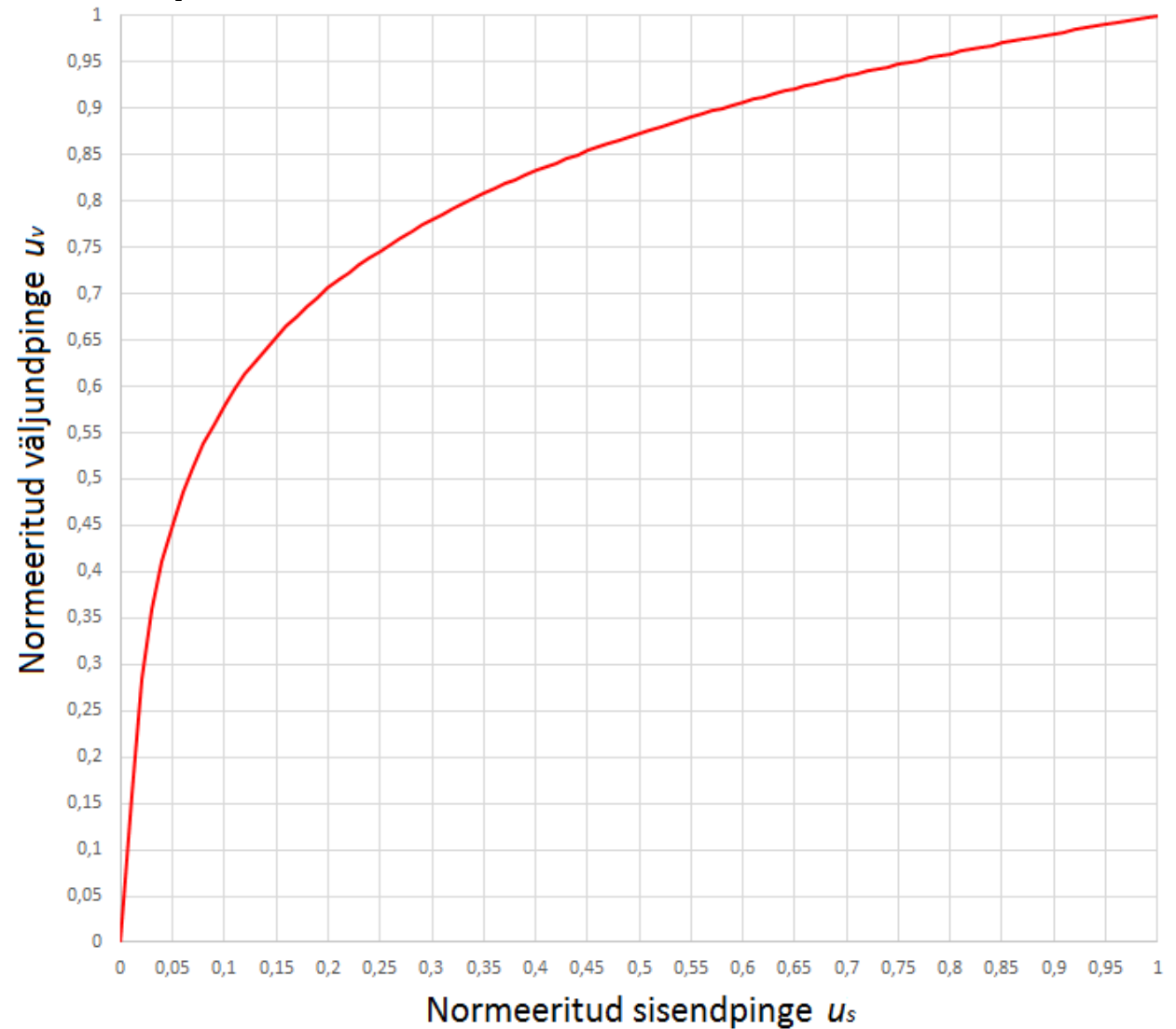
$$|u_v| = \begin{cases} \frac{A|u_s|}{1 + \ln(A)} & 0 \leq |u_s| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln(A|u_s|)}{1 + \ln(A)} & \frac{1}{A} \leq |u_s| \leq 1 \end{cases}$$

Normeeritud sisendpinge:

$$u_s = \frac{u_{sis}}{U_{max}}$$

Väljundpinge:

$$u_{välj} = u_v U_{max}$$



Ülesanded 3

8. A-seadust kasutava kompressori sisendis muutub pinge vahemikus 350mV kuni 1,05V, maksimaalne lubatud pinge väärtus on 1,4V. Millises vahemikus muutub väljundpinge? Kui suur on kompressori ülekanne 350mV pinge jaoks?

Ülesanded 4

9. CD plaadile salvestatakse muusika stereohelina, mõlemas kanalis on diskreetimissagedus 44,1kHz ja signaali väärtused salvestatakse 16-bitiste arvudena. Kui suur andmemahut salvestatakse ühes sekundis?
10. MP3 audio kodek (MPEG-2 Audio Layer III) kasutades saab stereoheli salvestada ligikaudse mahuga u 1,5 MB minuti kohta. Mitu korda vähem vajab MP3 formaadis heli salvestamiseks ruumi vähem, kui CD plaadile salvestatav kodeerimata heli?

Ülesannete vastused:

1. $\Delta t \leq 1/6 \text{ s}$
2. $f_s \geq 9,80 \text{ kHz}; \Delta t \leq 102 \mu\text{s}$
3. $f_s \geq 24 \text{ kHz}$
4. $n_B = 11 \text{ bitti}$
5. $N = 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ V}^2$
6. $S/N = 952,3$
7. $SNR = 52,7 \text{ dB}, S/N = 186210$
8. $K(u_{sis} = 0,350\text{V}) = 3; u_{välj} = 1,05 \dots 1,33 \text{ V}$
9. $r = 1,4112 \text{ Mbitt/s}$
10. $K = 7,056$

Harjutus 4

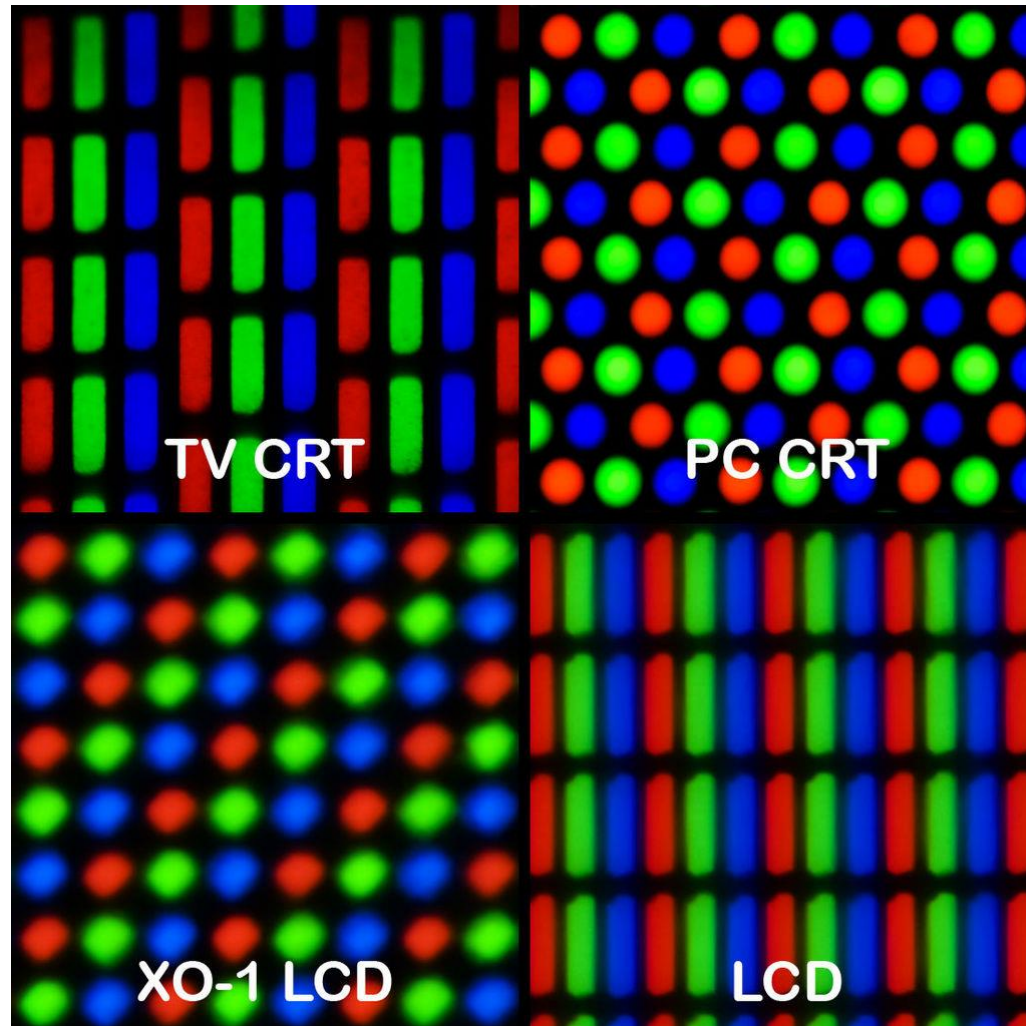
Video ja multimeedia

IEE1100 Arvutivõrgud

Piksel

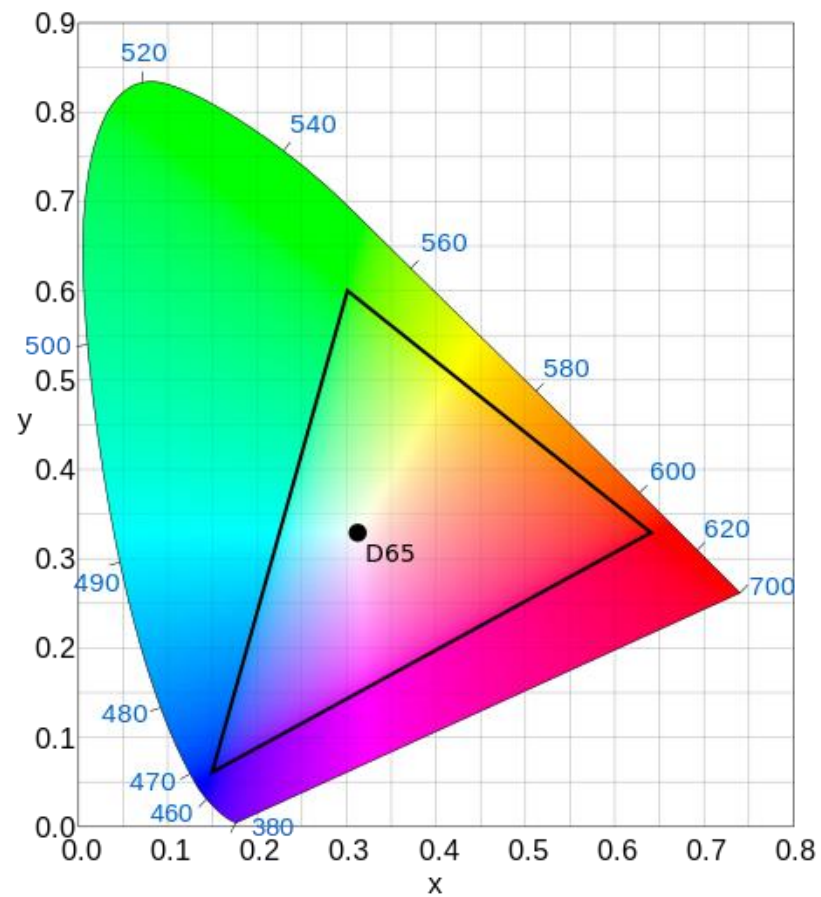
- Ka pildipunkt
- Vähim kujutise komponent
- Halltoonides (monokromaatile) pilt salvestatakse tavaliselt 8 bitiga piksli kohta - 256 halltooni.
- *Highcolor* – 16 bitti piksel: 5 bitti **R** ja **B** ning 6 bitti **G**
- *Truecolor* - 24 bitti piksel: iga värvus 8 bitti.
 - Kokku 16,77 miljonit värvitooni
 - Inimsilm eristab u 7-10 miljonit värvi
- 32 bitti piksel – kaheksa lisabitti pildi läbipaistvuse (*opacity*) kirjeldamiseks

Värvide kujutamine

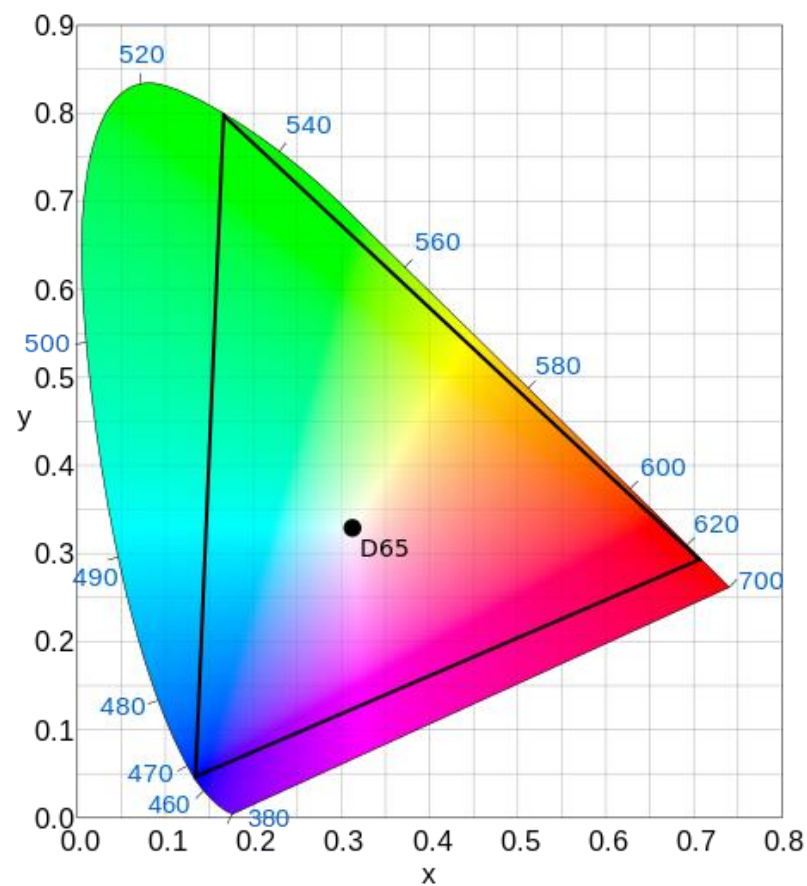


Värvikolmnurk

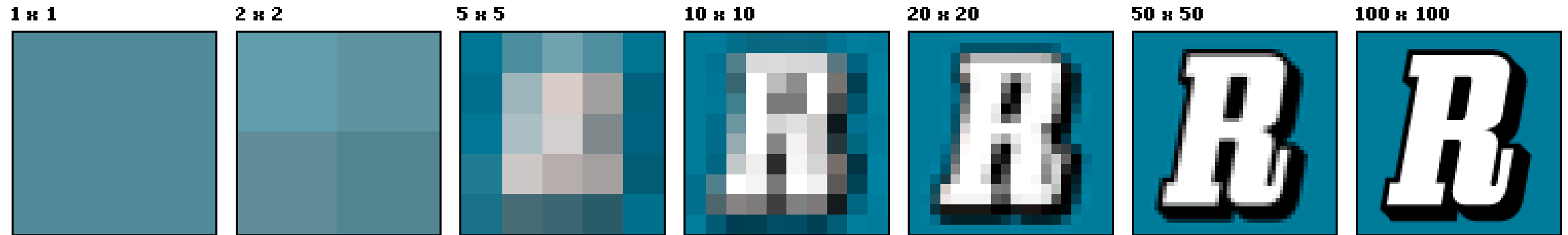
Rec. 709 (HDTV)



Rec. 2020 (UHDTV)



Kujutise resolutsioon ja piksli suurus

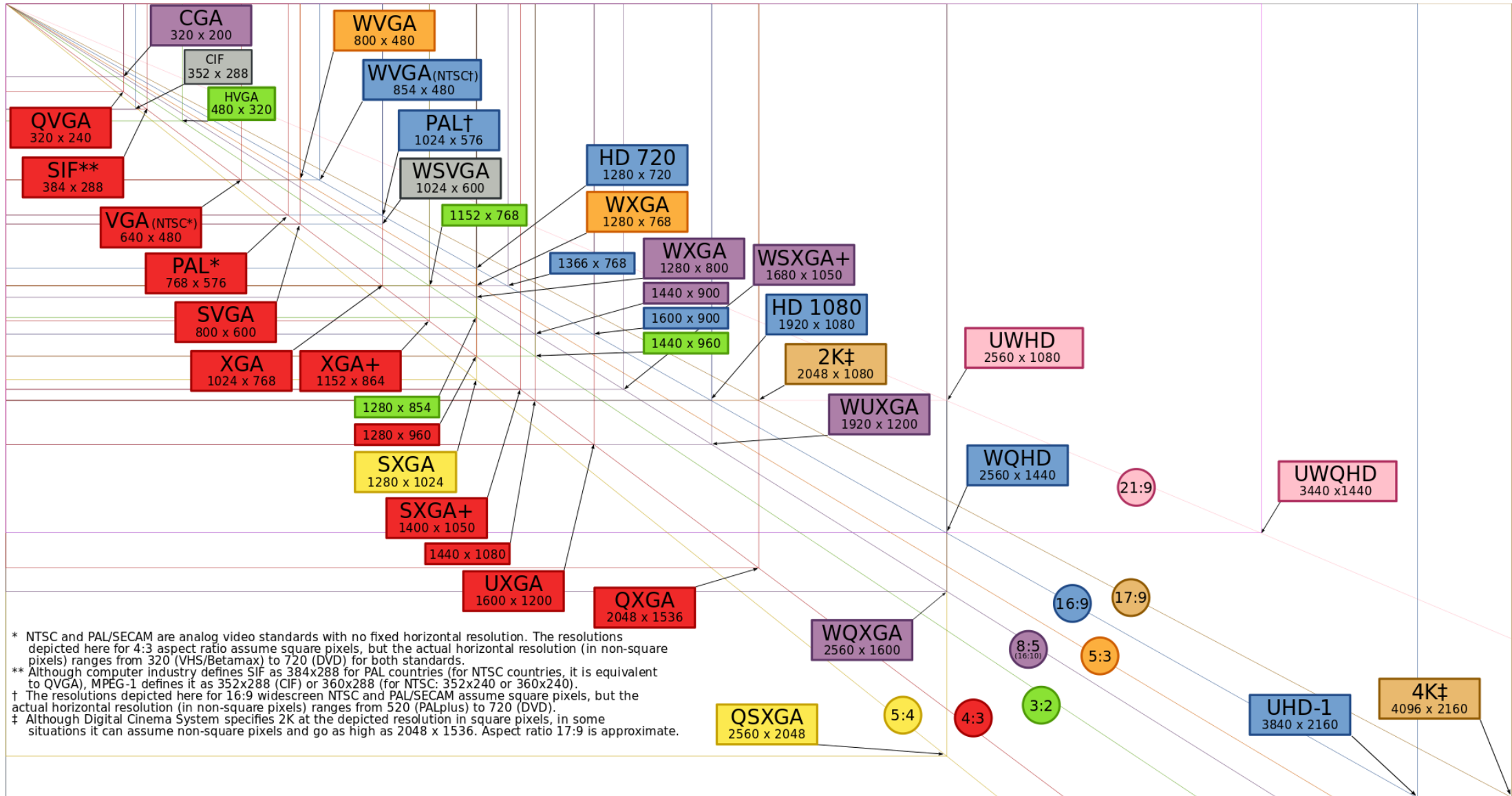


- Kujutise resolutsioon (eraldusvõime): pikkus ja laius pikslites
- Mida suurem on resolutsioon, seda rohkem piksleid. Sama pinnaga pildil üks piksel on väiksem ja pilt on selgem.
- Printerite resolutsiooni mõõdetakse DPI-des (*Dots Per Inch*)
 - 1 toll = 2,54 cm

Ülesanded 1

- 1) Printeri väljaprindi punktihedus on 600 dpi. Mitu pildipunkti sisaldab pilt, mille mõõdud paberil on 20x20 cm?
- 2) Skanneri eraldusvõime on 300 dpi. Kui suur tuleb skanneri väljundfail, kui skaneeritava pildi mõõdud on 10x15 cm ja iga piksli kohta salvestatakse värvid *Highcolor* (16bpp)?
- 3) Samad andmed, aga värviinfot salvestatakse *Truecolor* (24 bpp) formaadis?

Video resolutsiioonid



Televisionipildi resolutsioonid

Standard-definition television (SDTV):

- 480i (NTSC-ühilduv digitaalne standard, ülerealaotus, mõlemas poolkaadris on 243 rida)
- 576i (PAL-ühilduv digitaalne standard, ülerealaotus, mõlemas poolkaadris on 288 rida)

Enhanced-definition television (EDTV):

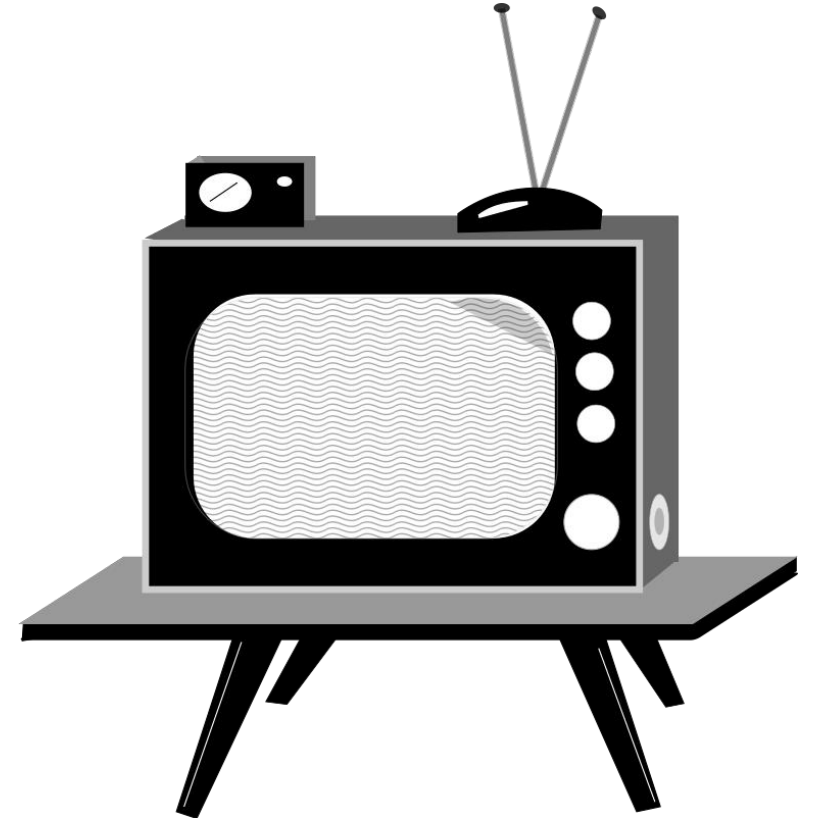
- 480p (720 × 480)
- 576p (720 × 576)

High-definition television (HDTV):

- HD (1280 × 720)
- Full HDi (1920 × 1080 ülerealaotus, poolkaadris 540 rida)
- Full HD (1920 × 1080)

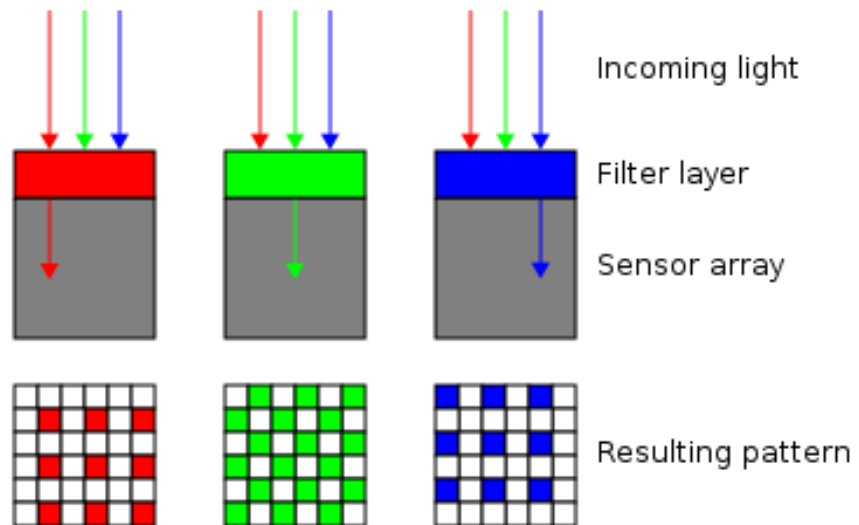
Ultra-high-definition television (UHDTV):

- 4K UHD (3840 × 2160)
- 8K UHD (7680 × 4320)
- 16K UHD (15360 × 8640)

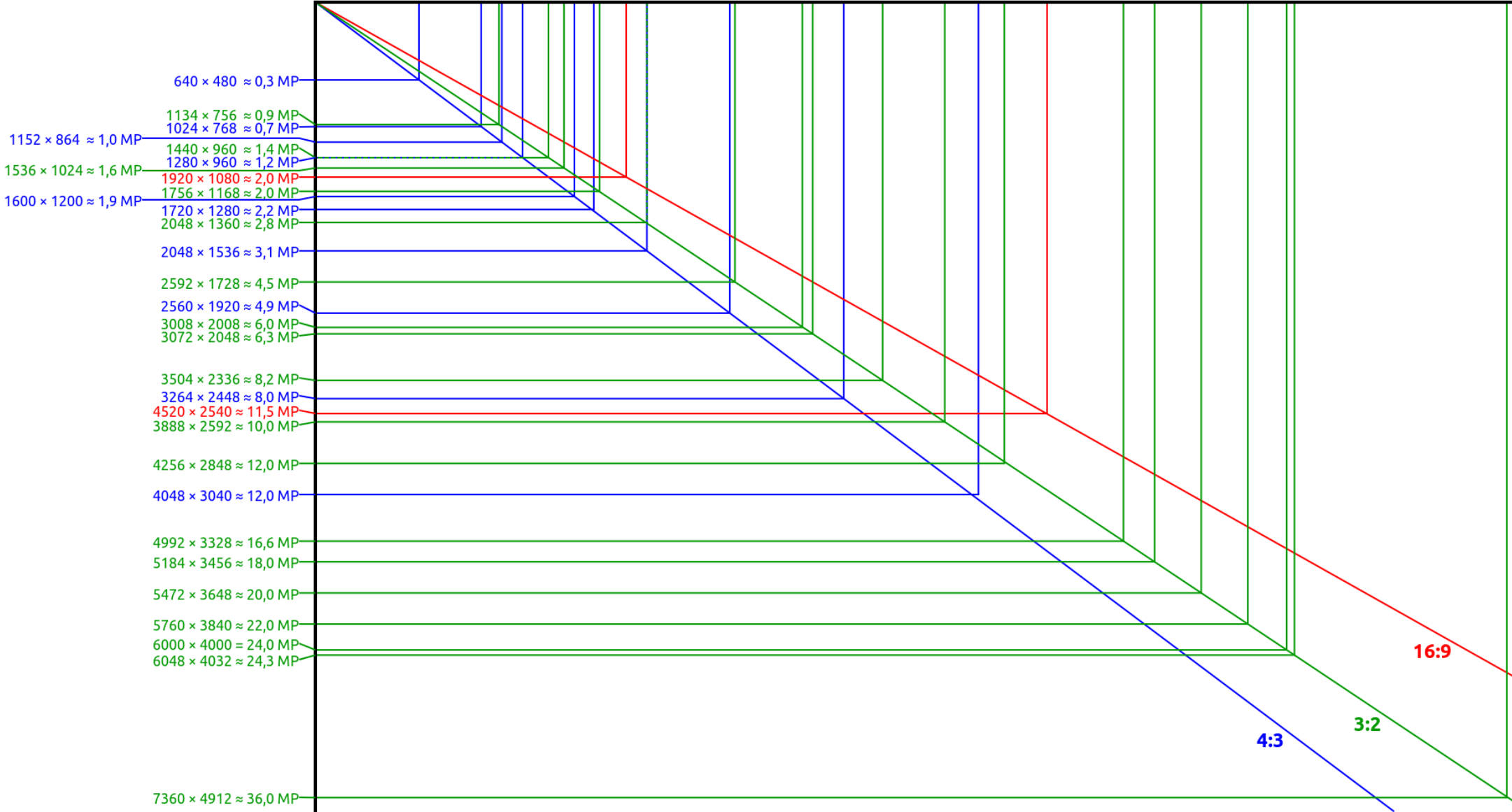


Bayer'i filter

- Värvifiltrite võre mida kasutatakse laiatarbeseadmetes värvipildi salvestamiseks ruudukujulise valgussensori korral.
- Filtri pindalast on 25% punane, 25% sinine ja 50% roheline (nn **RGGB**)



Digikaamerate resolutsioon



Ülesanded 2

- 4) Kuvari resolutsioon on 800x600 (SVGA), kuvasuhe on 4:3, diagonaal on 20 tolli. Kui suur oleks ekraanil (cm) pilt mõõtudega 300x100 pikslit?
- 5) Kaamera eraldusvõime on 2 MPx. Milliste resolutsiooniga (Px) pilte saab sellega teha, kui kuvasuhe on 16:9?
- 6) HVGA formaadis (480x320) värvilist videot edastatakse kiirusega 30 kaadrit sekundis kasutades 256 värvitooni. Vähemalt kui suurt edastuskiirust on vaja sellise video otseülekandeks?

YUV kodeering

- Võimaldab värvusinfo suuremat kompressiooni
- Tagas omal ajal ühilduvuse mustvalge ja värvitelevisiooni vahel (analoog).
- Heleduskomponent Y (ITU-R BT.601)

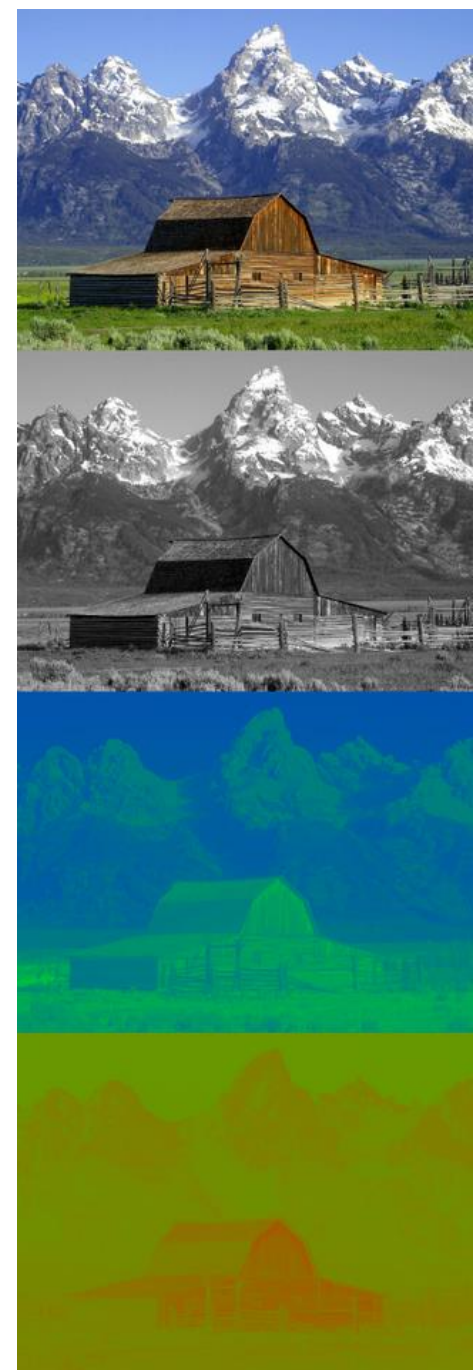
$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B$$

- Värvivahesignaaliid U (*blue projection*) ja V (*red projection*)

$$U = 0,492 \cdot (B - Y)$$

$$V = 0,877 \cdot (R - Y)$$

- Digitaaltehnikas $Cb = U$ ja $Cr = V$ (YCbCr)



Värvivahe signaalide aladiskreetimine

- *Chroma Subsampling*
- Inimsilma eraldusvõime on heleduse suhtes parem kui värvuse suhtes.
- Viimast asjaolu saab ära kasutada vähendamaks kujutise salvestamiseks kuluvat informatsioonihulka.
- Aladiskeetamise skeem esitatakse üldjuhul kolme arvuna $J:a:b$ (näiteks 4:2:2) mis kirjeldab heledus- ja värvivahe signaalide diskreetide arvu J piksli laiuses ja kahe piksli kõrguses alas:
- J : Vaadeldava ala laius, tavaliselt 4
- a : Värvivahe signaali diskreetide arv (Cr, Cb) esimeses J pikslit sisaldavas reas.
- b : Värvivahe signaali muutuste arv (Cr, Cb) esimese ja teise rea vahel

Värvusinfo skeem (4x2 plokk)

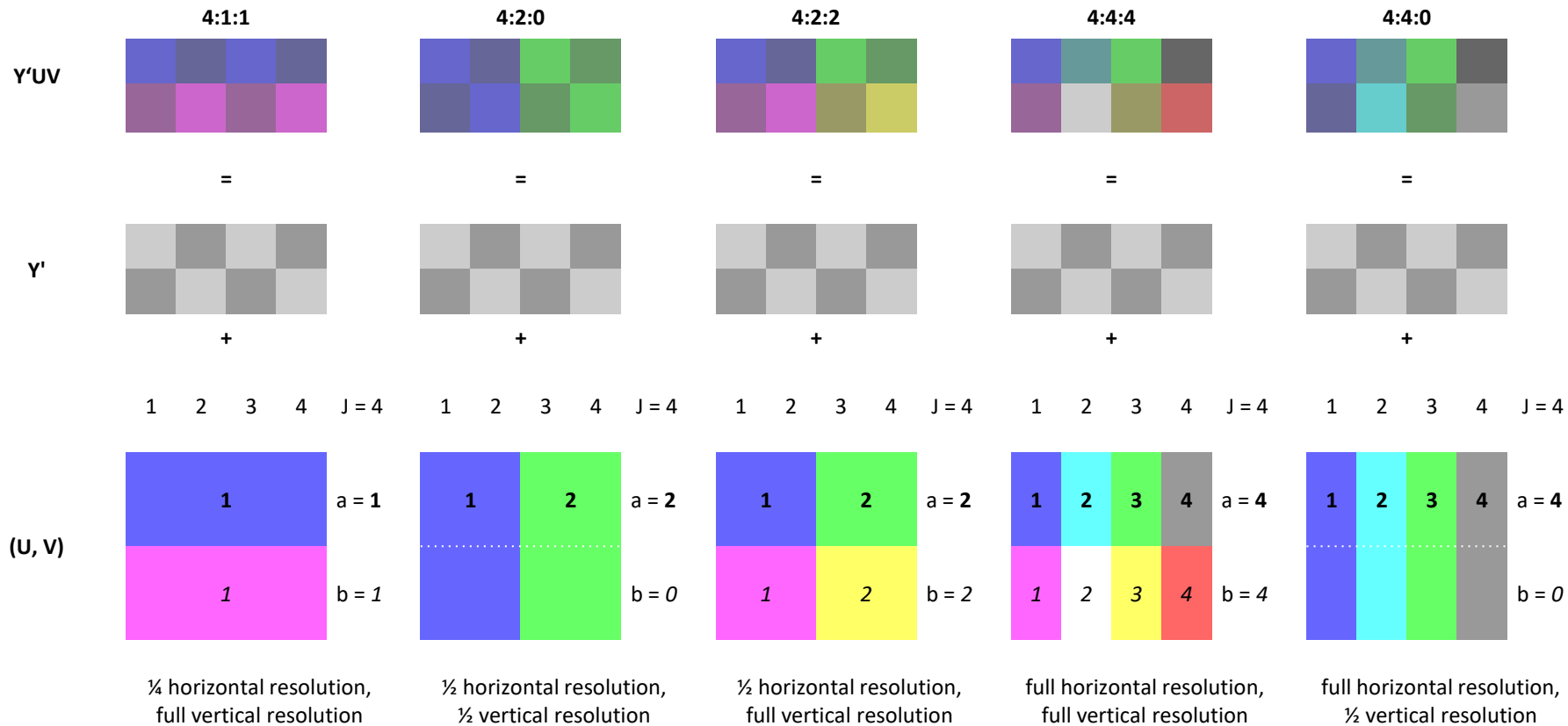
4:4:4

Plokk 4x2 pikslit = 8 pikslit

Kui iga komponent 8 bitti, siis

Iga plokk $8 \cdot (8+8+8) = 192$ bitti

Seega iga piksel sisaldab 24 bitti





4:1:1



4:2:0



4:2:2



4:4:4



Ülesanded 3

- 7) Videot kodeeritakse 4x2 px plokkidena värvusinfo skeemi 4:1:1 järgi. Mitu bitti piksli kohta on vaja, kui ühe värvikomponendi jaoks kasutatakse 8 bitti?

Video kompressioon

- MPEG (*Moving Picture Experts Group*)
- MPEG-1
 - Video ja audio kokku kiiruseni 1,5 Mbit/s
 - Kompressioonitegur 6:1 (audio) kuni 1:26 (video)
 - Enamlevinud resolutsioon SIF (*Source Input Format*):
 - 352x240, 352x288 või 320x240
 - Teoreetiliselt võimalik: resolutsioon kuni 4095×4095 (12-bitti)
 - Värvusinfo aladiskreetimine 4:2:0
 - 24; 25 või 30 kaadrit sekundis (fps)

Ülesanded 4

- 8) MPEG-1 koodekiga surutakse kokku järgnevate parameetritega videot. SIF formaadis (352x240) värviline (8 bitti värvikomponent), kaadrisagedus on 25 fps ja värvusinfo aladiskreetimine toimub skeemi 4:2:0 kohaselt. Kui suur peaks olema koodri kompressioonitegur, kui lõplik andmevoog on kiirusega 1,5 Mbit/s.
- 9) Samsungi mobiiltelefoni kaamera resolutsioon on 4128x3096. Kaameraga tehtud värvilise JPEG formaadis foto suurus oli 8,20 MB, mitu korda vähendab JPEG koodek pildifaili suurust, kui iga piksel kompressseerimata fotol sisaldab kolm baiti informatsiooni? Milline on antud pildi kuvasuhe?

Ülesannete vastused:

- 1) $N = 22.320.045$ px
- 2) Faili suurus: 4,185 MB
- 3) Faili suurus: 6,278 MB
- 4) Pildi mõõtmed ekraanil: 5,08 x 15,24 cm
- 5) Piltide resolutsioon on: 1886x1061 pikslit
- 6) $R = 36,864$ Mbitt/s
- 7) 12 bitti piksli kohta
- 8) $k = 16,896$
- 9) $k = 4,68$; 4:3