

ELEC-C7110

Informaatioteknologian perusteet

Kalevi Kilkki

Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos

Tiedonsiirto

21.1. & 22.1.2019

Kurssin rakenne



- » 7+2 asiakokonaisuutta = jakso (viikko)
- » Viikko: 2+2 tuntia luentoja ma 14:15, TU1/1017, ti 14:15, E/Y124
2 tuntia harjoituksia ke 12.15, TU1/1017
- 1. Johdanto ma 7.1. & ti 8.1.
- 2. Tietoliikennealan palvelut ma 14.1. & ti 15.1. ma klo 14-15: paneelikeskustelu
- 3. Tiedonsiirto ma 21.1. & ti 22.1.
- 4. Kiinteät verkot ma 28.1. & ti 29.1.
- 5. Matkaviestintä ma 4.2. & ti 5.2.
- 6. Tietojenkäsittely ma 11.2. & ti 12.2.
(tenttiviikko – ei opetusta ma 18.2. & ti 19.2.)
- 7. Internet ma 25.2. & ti 26.2.
- 8. Kommunikaatioakustiikka ma 4.3. & ti 5.3.
- 9. Puheteknologia ma 11.3. & ti 12.3.

TENTTI 10.4.2019

Huomioita laskaritehtävistä

- » Käsien saa tehdä, mutta varmista että
 - › paperi on PDF:ssä oikein päin, sivut järjestyksessä ja koko järjellinen
 - › tekstistä ja numeroista saa selvän eikä mikään leikkaudu pois
- » Merkitse tehtävän lopputulos selkeästi
 - › nopeuttaa arvostelua
- » Pidä huoli siitä, etteivät tavu ja bitti mene sekaisin
- » Käytä samoja lyhenteitä kuin kurssin materiaaleissa (Mbit/s ei Mbps)
- » Merkitse lisäoletukset selkeästi näkyviin
 - › kuten tehtävässä viikon 2 tehtävässä 1.1b SSD:n nopeus)
- » Näytä (tehtävän pituudesta riippuen) ainakin joitakin välivaiheita
 - › pelkälle tulokselle on vaikea antaa täysiä pisteitä
 - › jos välivaiheet on viimeiseen asti oikein mutta tulos väärin, saa lähes täydet pisteet

Viime viikon luentotehtävä

- » Ajan arvo "0-tasoon" verrattuna (mediaani)
 - › Tunti: 30 €
 - › Päivä: 500 €
 - › Kuukausi 50000 €

ajan arvo	30 €/h
-----------	--------

	Kännykkä	FB	TV	Pelit
käyttö min/päivä	161	6	20	109
arvo €/päivä	81	3	10	54
arvo €/kk	2415	89	300	1630

Tämän viikon keskeiset aiheet

(• mahdolliset tenttikysymykset)

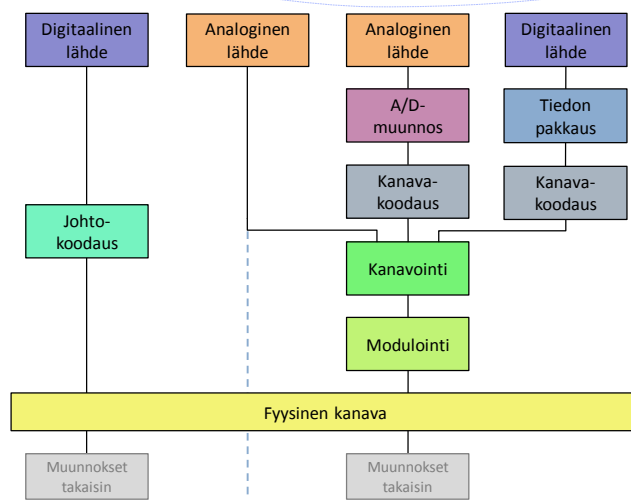


1. Desibeliasteikko ja sillä tehtävät laskutoimitukset
 - ei erillisenä kysymyksenä, mutta olennainen tieto ja taito laskutehtävissä
 2. Analoginen vs. digitaalinen tiedonsiirto
 - Mitkä ovat digitaalisen tiedonsiirron edut verrattuna analogiseen siirtoon
 - Mitkä ovat A/D-muunnoksen keskeisimmät virhelähteet
 3. Kanavoinnin periaatteet
 - Mitä kanavointi tarkoittaa ja mitkä ovat tärkeimmät kanavoinnin periaatteet
 4. Moduloinnin periaatteet
 - Mitä modulointi tarkoittaa ja mitkä ovat tärkeimmät modulointimenetelmät
 5. Erialaisten siirtomedioiden perusominaisuuksia
 - Vertaile parikaapelia ja optista kuitua siirtomediana
- + Shannonin kaava

ELEC-C7110

5

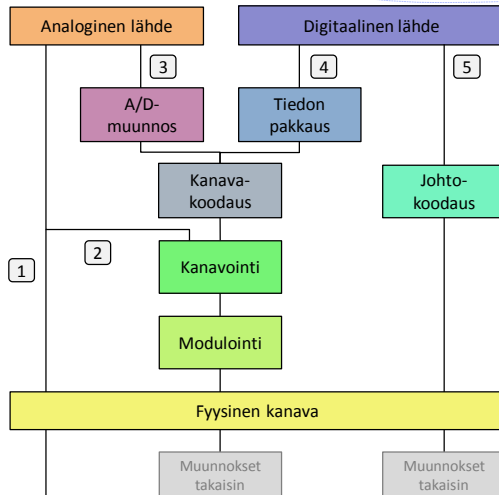
Tiedonsiirron rakenneosat

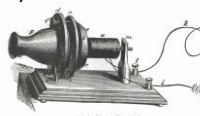


ELEC-C7110

6

Tiedonsiirron rakenneosat v.2.0



1. Bell (1876) 
2. Taajuuskanavointi & modulointi (AM/FM-radio)
3. Digitaalinen puhelinverkko
4. Internet
5. Tietokoneen ja oheislaitteiden välinen yhteys

ELEC-C7110

7

Analoginen / digitaalinen

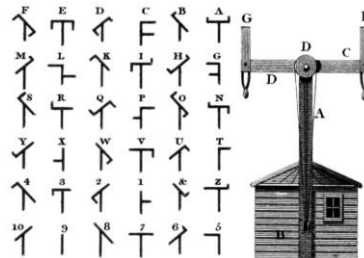


» Analoginen signaali on jatkuva

- › Kaikki arvot (periaatteessa) mahdollisia

» Digitaalinen signaali on diskreetti

- › Rajallinen määrä arvoja



» Digitaalinen tiedonsiirto

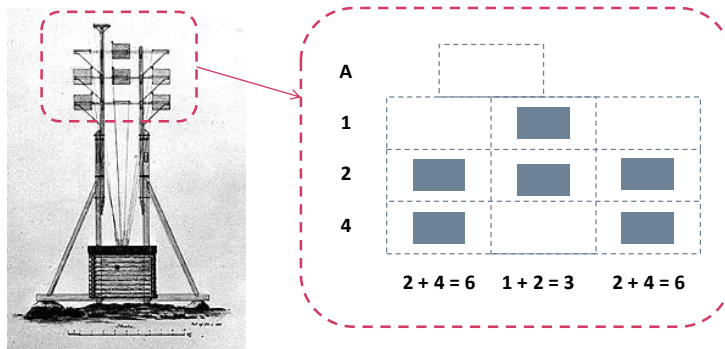
- › Tieto pitää muuttaa siirrettäväksi biteiksi
 - Ja takaisin

T ?

ELEC-C7110

8

Digitaalisen tiedonsiirron ensiaskelia



Edelcrantz

ELEC-C7110

9

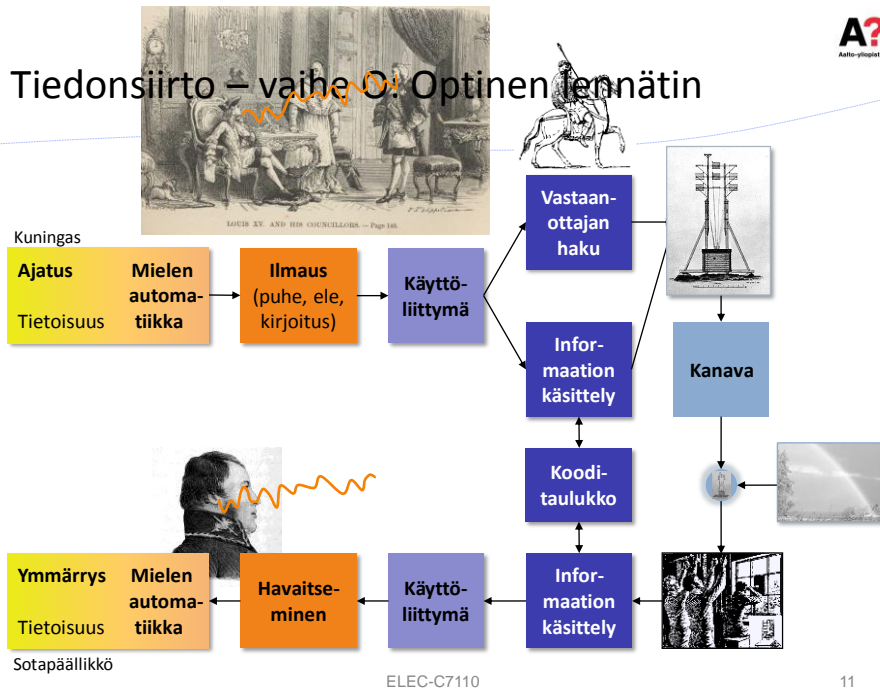
Kevennys ja kysymys

- » Haastattelija: Olette koonnut elämänne aikana sangen mittavan omaisuuden. Mistä rahanne on peräisin?
 - » Miljonääri: Tienasin kaiken kirjekyyhkyalalla.
 - » Haastattelija: Miten hämmästyttävää! Montako kyyhkyä olette elämänne aikana myyneet?
 - » Miljonääri: Vain yhden. Se lensi aina takaisin.
- (lähde: Platon ja vesinokkaeläin menivät kapakkaan)
- » **Onko kirjekyyhky analogista vai digitaalista tiedonsiirtoa?**

ELEC-C7110

10

Tiedonsiirto – vaihe 0: Optinen lennätin



Optisen lennättimen haasteet

Mitä kaikkia haasteita optinen lennätin asettaa siirtojärjestelmän suunnittelulle?

- » Miksi tällainen kysymys?
 - › Koska tällaisen teknologian voi ymmärtää arkipäivän kokemuksella
 - siis ilman Maxwellin yhtälöitä ja Shannonin kaavaa

Miten vastaavia ongelmia voidaan ratkaista **moderneissa siirtojärjestelmissä**?

- » Mistä vastaanottaja tietää, milloin uusi sanoma alkaa?
 - › Merkki (koodi) aloittaa uuden sanoman & koodin jatkuva seuranta
- » Säästä johtuva epäluotettavuus
 - › Käyttämällä taajuuksia, jotka eivät ole herkkiä säälle
- » Vastaanotossa tapahtuvat virhetulkinnat
 - › Virheitä havaitsevat ja niitä korjaavat koodit
- » Kapasiteetin rajallisuus
 - › Tehokas koodaus – mahdollisimman paljon hyödyllistä informaatiota läpi

Digitaalisuuden edut



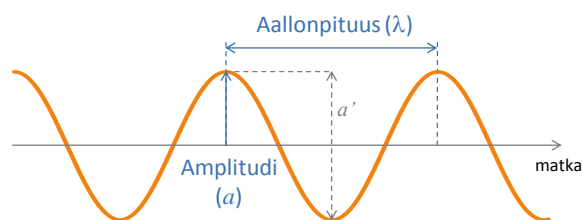
- » Kohinan ja häiriöiden sieto paranee
 - › Jos lähetetään +1 ja -1 ja vastaanotetaan +0,7 on todennäköistä että lähetettiin +1
 - › (pelkän vahvistamisen sijaan) voidaan signaali tunnistaa ja luoda uudestaan \Rightarrow toistimet
 - Kohina ei kumuloidu
- » Digitaalinen tekniikka
 - › luotettavampaa, edullisempaa ja vähemmän energiaa kuluttavaa,
 - › mahdollistaa kehittyneet kanavointitekniikat
 - enemmän kapasiteettia

Analoginen: Ääni



- » Aaltoliikkeeseen perustuvaa tiedon siirtoa
 - › Mekaanisena värähtelynä
- » Etenemisnopeus (v) riippuu väliaineesta
 - › Ilma 330 m/s, vesi 1500 m/s, teräs 5000 m/s
 - › Valo etenee kuidussa n. 200 000 km/s
 - › Signaali vaimenee matkalla
- » Ihminen aistii mm.
 - › Voimakkuuden
 - › Äänen korkeuden
- » Yhteys voi olla epäsymmetrinen

Termit



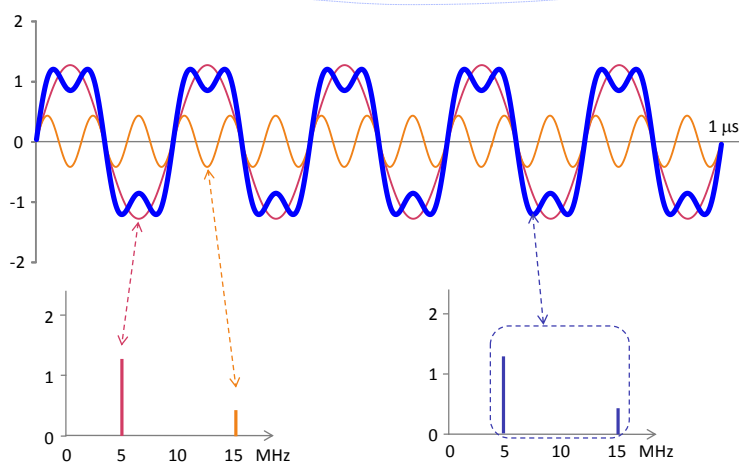
Teho $\sim a^2$

Taajuus $f = v/\lambda$ [Hz]

v = aallon etenemisnopeus

Kaistanleveys = ylimmän ja alimman taajuuden erotus

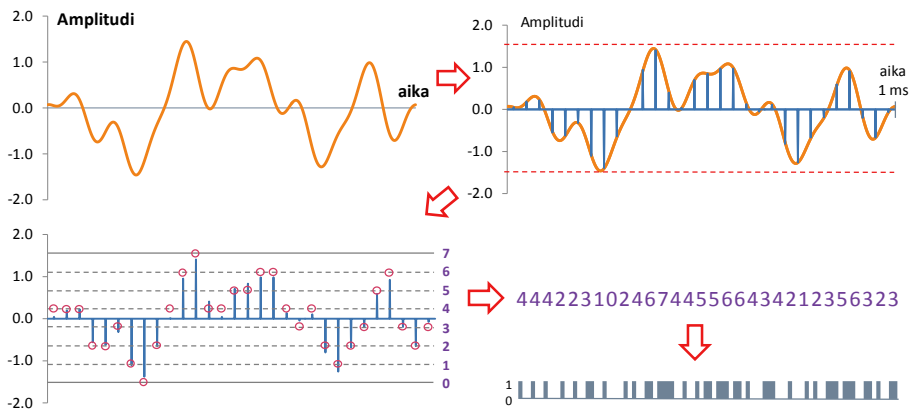
Taajuudet



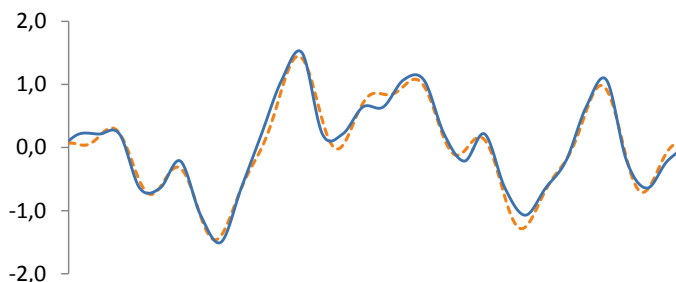
Digitaalinen tiedonsiirto

- » Siirrettävä tieto on digitaalista (eli bittejä)
 - › Joko kvantisoitu (ääni, kuva) tai alun perin digitaalista ("data")
- » Siirtotiellä käytetään rajallista joukkoa aaltomuotoja
 - › Yksi bitti voi olla kaksi eri tehotasoa, kaksi taajuutta, jne.
 - › Vastaanottaja tietää, mitä on voitu lähettää

Signaalin digitalisointi (yksinkertainen menetelmä)



Ja takaisin analogiseksi...

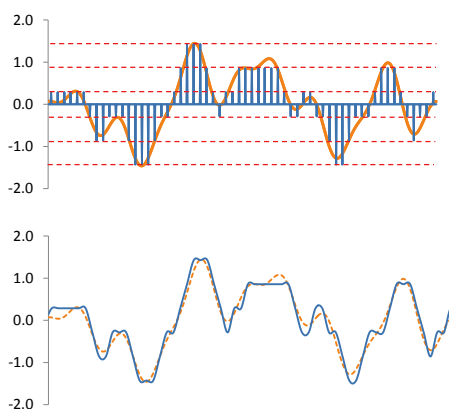


“Näyttää melko hyvältä” mutta kuulo on hyvin herkkä virheille [⇒ puheteknologia, kommunikaatioakustiikka]

Digitalisoinnin aiheuttamat signaalin vääristymät

1. Kvantisointikohina
2. Signaalin huippuarvojen leikkaantuminen
3. Näytteenottotaajuuden riittämättömyys
 - laskostuminen

Kvantisointi

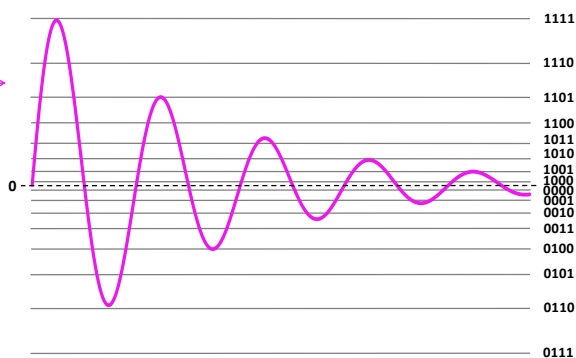


ELEC-C7110

21

Puheen digitalisointi

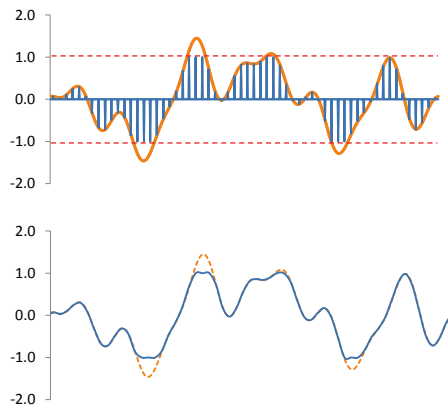
- » Muutetaan mekaaninen värähtely sähköiseksi
- » Otetaan signaalista näyte tasavälein
- » Muutetaan näytteet biteiksi
 - › Epälineaarinen asteikko →
- » Siirretään signaali vastaanottajalle



ELEC-C7110

22

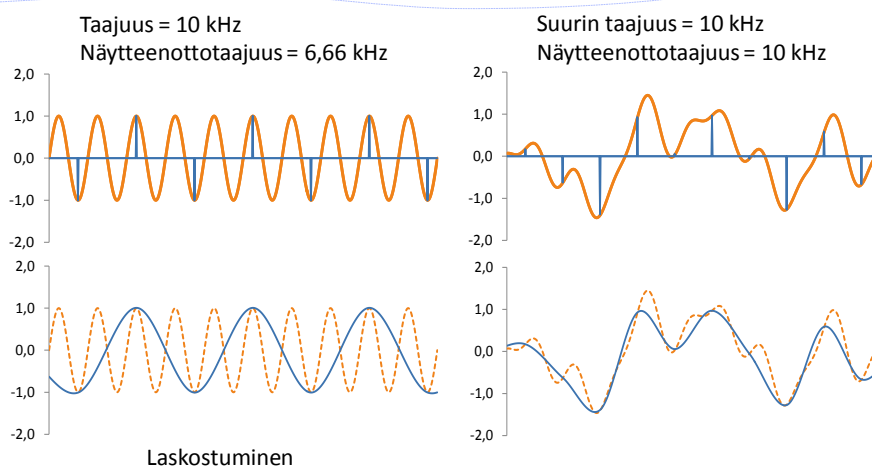
Huippuarvojen leikkaantuminen



ELEC-C7110

23

Riittämätön näytteenottotaajuus



ELEC-C7110

24

Nyquistin näytteenottoteoreema



- » H. Nyquist esitti (1928)
 - › Näytteitä pitää ottaa vähintään kaksinkertaisella taajuudella verrattuna signaalin suurimpaan taajuuteen
- » Puhelinverkko
 - › Taajuusalue 300 – 3400 kHz
 - ⇒ näytteenottotaajuus vähintään 6800 Hz
 - › Käytännössä tarvitaan enemmän
 - Standardeissa sovittu 8000 Hz
 - › Jos näyte koodataan 8 bitillä nopeus = 64 kbit/s

ELEC-C7110

25

Tiedon pakkaaminen



- » Häviöllistä ja häviötöntä
 - › Riippuen siitä voidaanko alkuperäinen informaatio palauttaa takaisin alkuperäiseen muotoon
- » Häviötön perustuu redundanssiin
 - › Teksti voidaan pakata suhteellisen helposti 40 prosenttiin alkuperäisestä, tehokkaalla koodauksella jopa alle 15 %:iin
- » Videokuvan koodaus ja siirto lähes aina häviöllistä
 - › HD-video pakkaamattomana > 1,2 Gbit/s
 - › Tyypillinen pakattu (häviöllinen) HD-video ~ 5 Mbit/s

ELEC-C7110

26

» ”Kuninkaan käsky: hyökkäys kello 6”

- › Voi mahtua vastaanottajan ja lähettäjä tiedon kanssa 6 symboliin (á 9 bittiä) eli 54 bittiin!
 - Perustuu ennalta valikoituihin, eniten käytettyihin sanoihin
 - Kaikki kirjainyhdistelmät eivät ole yhtä todennäköisiä
- › Jos jokainen kirjain koodattaisiin erikseen tarvittaisiin huomattavasti enemmän bittejä

Chapman erikoissignaaleja:

- High priority - a signal from Paris
- Lower priority - a signal from a Provincial director
- Message received and understood
- End of transmissions for the day
- You did not copy my last signal correctly
- I cannot see (because of fog, or snow)
- Temporary breakdown, which I will repair
- Serious breakdown, which I cannot repair
- An intermediate station is blocking or slowing transmission
- Please continue transmission
- My last signal was incorrect
- Please repeat your last signal

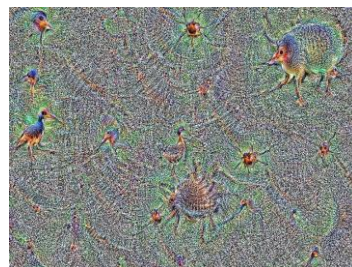
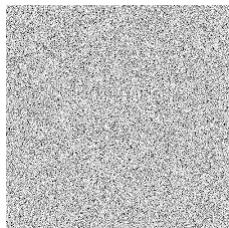
ELEC-C7110

27

Keskustelu

» Voidaanko kohinaa pakata?

- › Edellyttää hahmon-
tunnistusta (jossain
muodossa)



<http://deepdreamgenerator.com/>

ELEC-C7110

28



29

Johtokoodaus

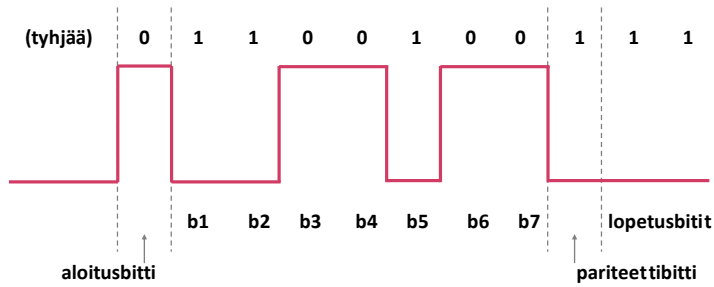


A?
Aalto-yhteisö

- » Johtokoodaus koskee (vain) digitaalisen datan siirtämistä siirtotien yli mahdollisimman yksinkertaisesti
 - › Esim. kun tietokone liitetään lähiverkkoon johdolla
 - › Monimutkaisemmissa siirtojärjestelmissä käytetään kanavakoodausta ja erilaisia kanavointi- ja modulointimenetelmiä

Chapman ja Edelcrantzin ero on (tavallaan) johtokoodauksessa
+ Edelcrantzilla bitit on selkeästi rinnakkain!

Asynkroninen

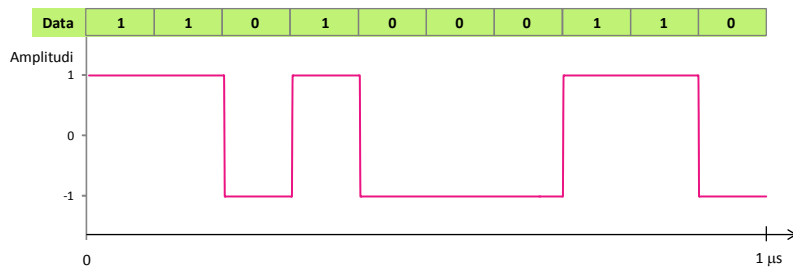


ELEC-C7110

31

Digitaalinen informaatio ~ data

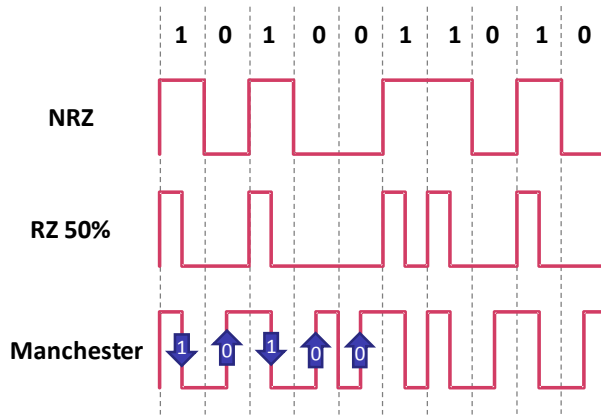
Yksinkertainen malli: kaksi amplituditasoa (tässä +1 / -1)



ELEC-C7110

32

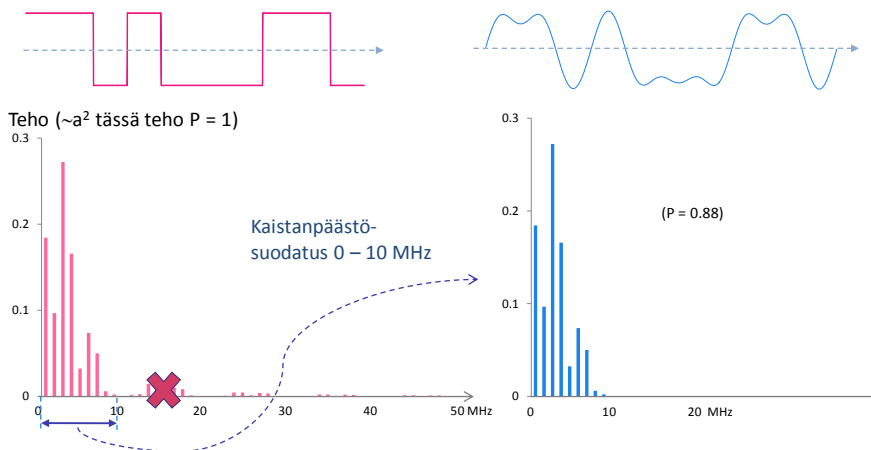
Esimerkkejä johtokoodauksesta



ELEC-C7110

33

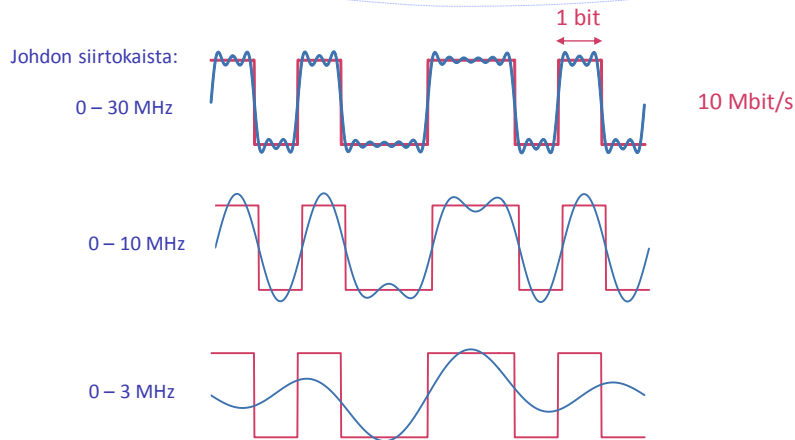
Digitaalinen signaalin (analogiset!) taajuudet



ELEC-C7110

34

Kanttiaalto siirtojohdolla



Vastaanoton onnistuminen riippuu myös kohinasta....

ELEC-C7110

35

Kanavakoodaus

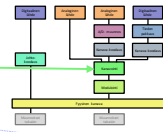


- » Tavoitteena sovittaa informaatio kanavan ominaisuuksiin siten että siirto on
 - › tehokasta ja luotettavaa
- » Virheitä voidaan havaita ja korjata
 - › tarvitaan erityisesti radiotien yli
 - vie merkittävän osan siirtokapasiteetista!
 - › samoja ongelmia kuin tiedontallennuksessa
 - käsitellään lisää tietojenkäsittelyosuudessa (Hamming-koodaus)

ELEC-C7110

36

Kanavointi



- » = multipleksointi
- » Tapa siirtää samalla yhteydellä (johto, radiotie) useita hyötysignaaleja
 - › Taajuuskanavointi (FDM)
 - Aallonpituusjakoinen kanavointi (WDM)
 - › Aikajakoinen kanavointi (TDM)
 - › Koodijakoinen kanavointi (CDM)
 - › + Yhdistelmät



ELEC-C7110

37

Taajuusjakoinen kanavointi



- » Taajuusalue jaetaan useaan viipaleeseen eli kanavaan
 - › Kanavalla on oma moduloitava kantaalto
- » Matkapuhelinverkossa
 - › Taajuusalueet operaattoreineen
 - 450 MHz - Ukkoverkot
 - 700 MHz - DNA, Elisa ja Telia
 - 800 MHz - DNA, Elisa, Telia ja Ålands Telekommunikation (4G)
 - 900 MHz - DNA, Elisa, Telia ja Ålands (3G)
 - 1800 MHz - DNA, Elisa, Telia ja Ålands (4G)
 - 2,1 GHz - DNA, Elisa Oyj, Telia ja Ålands (3G)
 - 2,6 GHz - Ukkoverkot, DNA, Elisa ja Telia, ja Ålands (4G)
 - Joiden sisällä eri operaattoreilla omat kaistansa

ELEC-C7110

38

Aikajakoinen kanavointi

- » Lähetetään useista signaaleista otettuja näytteitä vuorotellen (samalla taajuudella)
- » Yksi kanava = tietyin väliajoin vastaanotetut bitit
 - › Esimerkiksi (digitaalisessa) puhelinverkossa
 - PCM-koodattu puhelinyhteys (64 kbit/s) = 1 aikaväli
 - 32 aikaväliä muodostaa 2 Mbit/s järjestelmän
 - Hierarkkia jatkui: $4 \times 2 = 8$, $4 \times 8 = 34$ (!), $4 \times 34 = 140$ Mbit/s
 - Lähettäjän ja vastaanottajan täytyy olla tarkasti synkronoituja

Aallonpituusjakoinen kanavointi

- » Käytetään optisessa viestinnässä, eli valokuiduissa
 - › Kanava = valon aallonpituus
 - › Moninkertaistaa valokuitujen kapasiteetin
- » Vastaa periaatteessa taajuusjakoista kanavointia

Koodijakoinen kanavointi

- » Samaa taajuuskaistaa käyttävät signaalit koodataan omilla koodeillaan
- » Koodin haltija pystyy erottelemaan vastaanottamastaan signaalista oman tietonsa
 - › mutta ei muita ilman tarvittavaa koodia
- » Käytetään matkapuhelinverkoissa (3G →)
- » **Analogia**
 - › Samanaikainen eri kielillä puhuminen cocktail-tilaisuudessa
 - › Jos muut kielet ovat riittävän erilaisia, ne ovat kohinaa
 - › Oma nimesi on sinulle koodi, jonka tunnistat melun joukosta!

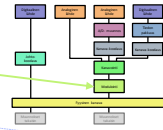
Kevennys ja opetus

- » Monikansallisessa yhtiössä on sihteerin paikka avoinna. Kultainen noutaja hakee paikkaa ja pääsee haastatteluun.
Henkilöstöpäällikkö kysyy: "Osaatko vieraita kieliä?"
Kultainen noutaja vastaa: "Miau."

(Platon ja vesinokkaeläin menivät kapakkaan)

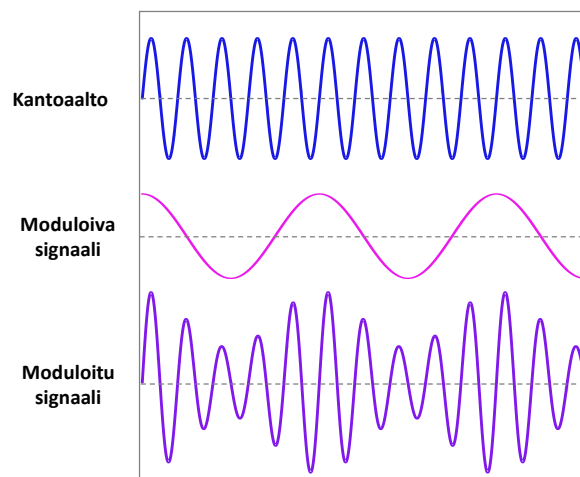
- » **Pointti**
 - › Tästä voi muistaa koodijakoisen kanavoinnin periaatteen
≈ miten eri eläinlajit viestivät viidakossa samanaikaisesti

Modulointi

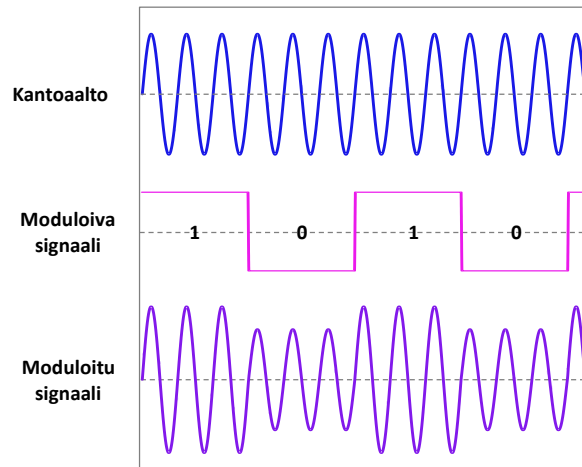


- » Jotain kanta-aallon ominaisuutta (tai ominaisuuksia) muokataan siten että sen (niiden) avulla voidaan välittää haluttu informaatio
- » Modulointiperiaatteet
 - › Amplitudi
 - › Taajuus
 - › Vaihe

AM eli amplitudimodulaatio

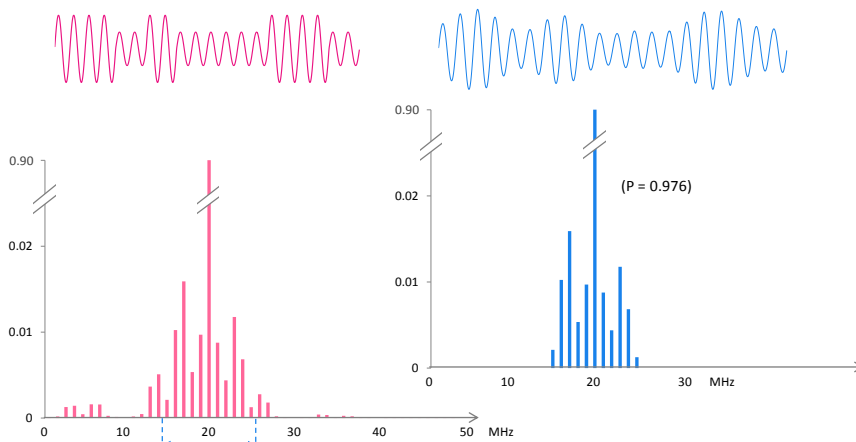


Digitaalinen amplitudimodulointi (ASK)



ELEC-C7110

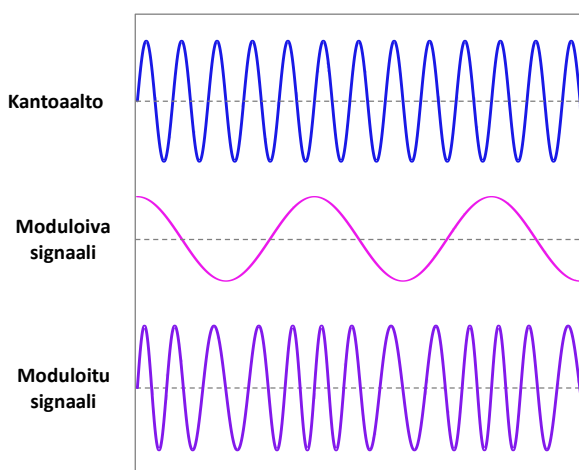
Amplitudimoduloitu signaali



ELEC-C7110

46

FM eli taajuusmodulointi



ULA =
FM radio
(-lähetys)
on edelleen
analoginen!

Miksi?

ELEC-C7110

47

Norway is first country to turn off FM radio and go digital-only

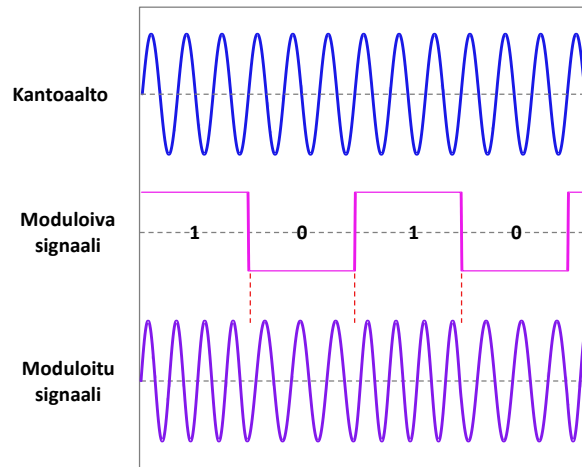
- » Norway has many mountains and valleys that the robust nature of DAB can help with
 - › Additionally, its FM radio infrastructure was coming to the end of its life, so they would've needed to either replace it or fully commit to DAB anyway
- » Digital signals are more efficient
 - › The move will also allow it to expand the number of radio stations on offer, as DAB has greater capacity than FM.
- » Sound quality is better

DAB = digital audio broadcasting

ELEC-C7110

48

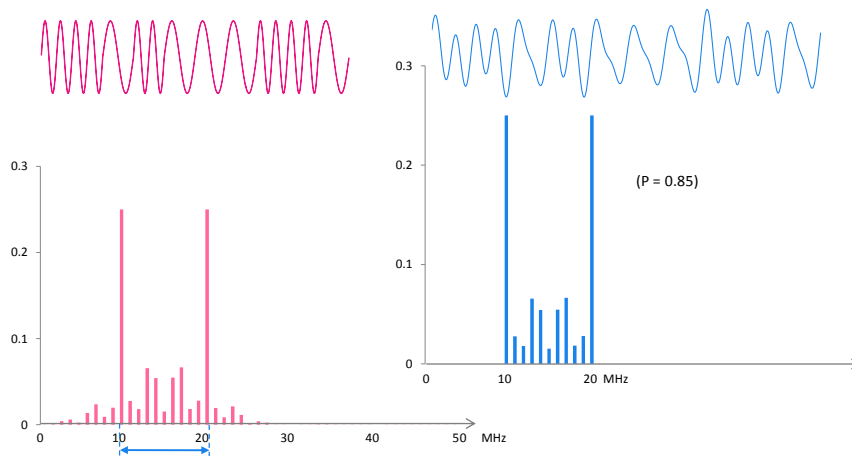
Digitaalinen taajuusmodulointi (FSK)



ELEC-C7110

49

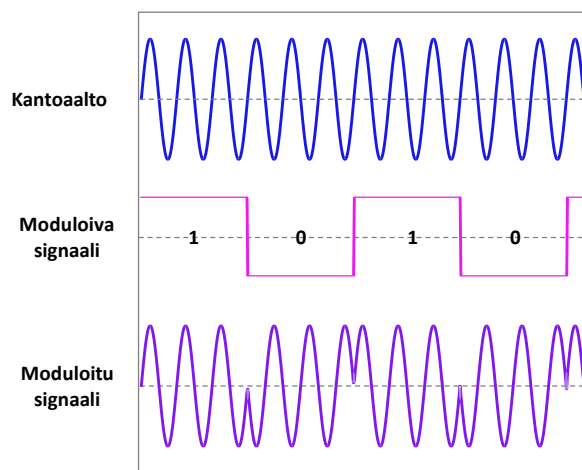
Taajuusmoduloidun signaalin taajuudet



ELEC-C7110

50

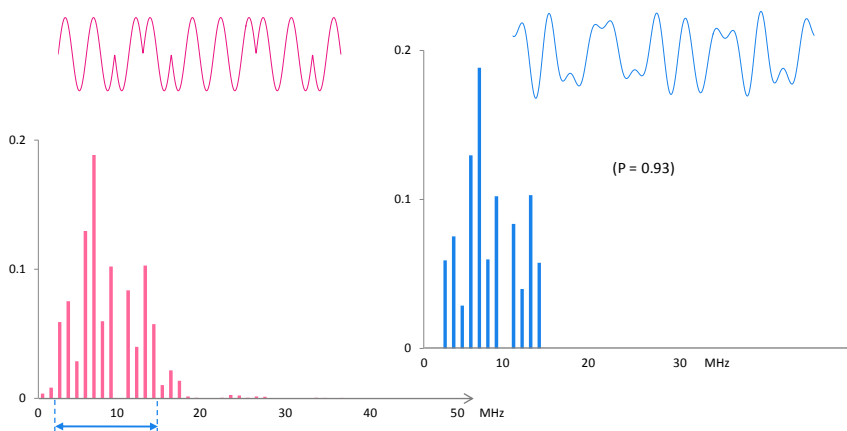
Digitaalinen vaihemodulaatio (PSK)



ELEC-C7110

51

Vaihemoduloidun signaalin taajuudet



ELEC-C7110

52

Johtokoodaus, modulointi & kanavointi

Mitä eroa on johtokoodauksella, moduloinnilla ja kanavoinnilla?

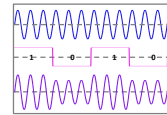
» **Johtokoodaus**

- › digitaalisen datan siirtäminen siirtotien yli yksinkertaisesti (periaatteessa vain yksi signaali)



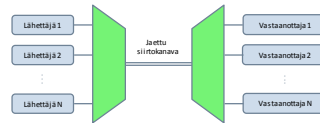
» **Modulointi**

- › Kantoaallon ominaisuutta (amplitudi, taajuus, vaihe) muokataan siten että sen avulla voidaan välittää haluttu informaatio



» **Kanavointi**

- › Tapa siirtää samalla yhteydellä useita hyöty-signaaleja (aika-, taajuus- ja koodijakoinen)



» Lisäksi kanavakoodaus

- › sisältää mm. virheen havaitsemisen ja korjauksen

Desibeli

» **Logaritminen asteikko**

- › Kuvaa suureiden **suhteita**

- › Tehojen suhde (ellei muuta mainita)

» Yksikkö = beli (Bell'in mukaan)

» Yleensä **desibeli**, eli kymmenesosa

$$\frac{P_1}{P_2} [dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) [dB]$$

- » Koska teho on suhteessa amplitudin neliöön, jännitteelle ja virralle desibelit lasketaan

- › $20 \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right)$ ja $20 \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$ [dB]

Desibeli esimerkkejä

- » Tehon puolittuminen ~ -3 dB
- » Tehon kaksinkertaistaminen $\sim +3$ dB
- » Tehon 10-kertaistaminen $+10$ dB

Koska $5 = 10/2 \Rightarrow$

- › tehon 5-kertaistaminen $+10$ dB $- 3$ dB = $+7$ dB

- › $1 : 10 = -10$ dB
- › $1 : 2 = -3$ dB
- › $100 : 1 = +20$ dB
- › $500 : 1 = +27$ dB

Desibeli suhteessa milliwattiin dBm

- » Tehoa kuvataan usein suhteessa milliwattiin

$$P [\text{dBm}] = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$$

- » Esimerkiksi
 - › $1 \text{ W} = 1000 \text{ mW} = 10 * 10 * 10 \text{ mW} = 10 + 10 + 10 = 30 \text{ dBm}$
 - › $25 \text{ mW} = 5 * 5 \text{ mW} = 7 + 7 = 14 \text{ dBm}$

Desibeleillä laskeminen



- » Desibelien yhteenlasku tarkoittaa tehojen kertalaskua
 - › Desibeli on aina suhde
 - › Sen sijaan, **dBm** määrittää myös vertailutason = 1 mW
- » Toisistaan riippumattomien tehojen yhteenlasku täytyy tehdä tehoasteikolla (W)
 - › **23 dBm + 29 dBm** \approx 200 mW + 800 mW = 1 W = **30 dBm**
 - **20 dBm** = 100 mW & +3 dB tarkoittaa kaksinkertaista tehoa

ELEC-C7110

57

Luentotehtävä 22.1.2019



- » Mitä seuraavat tehot ovat dBm –asteikolla

- 1: 2 W
- 2: 1 nW
- 3: 5 kW
- 4: 40 MW

Yrittäkää laskea päässä!
(laskintakin saa käyttää)

Vastaukset numerona **yhden desibelin tarkkuudella**
(älkää lisätkö vastaukseen dBm lyhennettä)

Arvostelu: jokainen oikea vastaus = 0,25 pistettä

ELEC-C7110

58

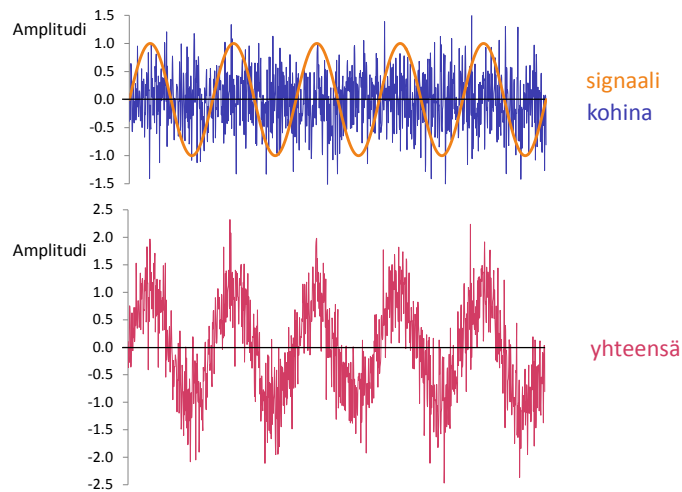
Häiriöt ja kohina

- » Lämpö on hiukkasten satunnaista liikettä
 - › Aiheuttaa komponenteissa satunnaisuutta → kohinaa
 - › Häiritsee kaikkea tietoliikennettä
 - herkkiä vastaanottimia voidaan jäähdyttää kohinan minimoimiseksi
- » Muita häiriölähteitä (riippuen käytetystä mediasta)
 - › Ylikuuluminen
 - › Melu
 - › Vesisade, sumu

Signaalikohinasuhde

- » Hyötysignaalin ja taustahäiriön suhde
 - › S/N (signal-to-noise ratio)
 - › S = vastaanotetun hyötysignaalin teho
 - › N = häiriöteho
- » Signaalin laatu riippuu järjestelmästä
 - › GSM-verkossa
 - S/N ~ 0 dB: yhteys heikko tai olematon
 - S/N ~ 10 dB: kelvallinen yhteys
 - S/N ~ 20 dB: erinomainen yhteys

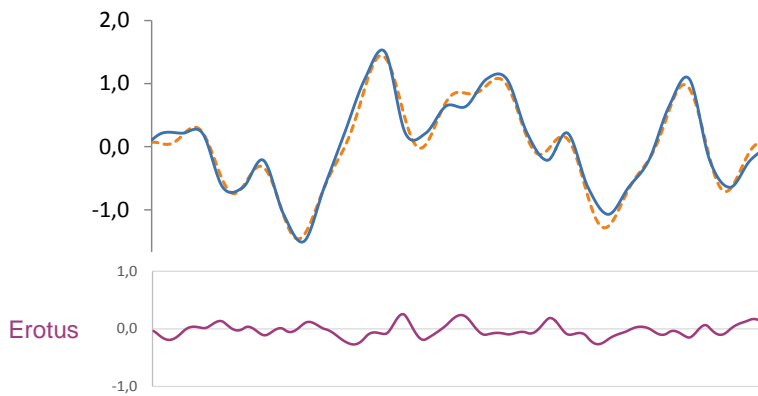
Esimerkki: $S/N = 2 = 3\text{dB}$



ELEC-C7110

61

Aikaisempi A/D + D/A muunnosten tuotos



Lähetetyn ja vastaanotetun signaalin erotuksen ("kohinan")
tehojen suhde = $0,500 / 0,0134 = 37,3 = 15,7\text{ dB}$

ELEC-C7110

62

Tiedon siirron määrä

- » Signaalikohinasuhde luonnehtii yksittäisen tiedonsiirtolinkin laatua
- » Informaatioteoria määrittelee suurimman mahdollisen tiedonsiirron määrän annetulla linkin laadulla
- » Bitti = tiedon määrä, joka voidaan ilmaista valitsemalla toinen kahdesta vaihtoehdosta
 - › Aakkosissa yhteensä 28 kirjainta
 - › Viiden kirjaimen ”sanoja” on $28^5 = 17\,210\,368$ erilaista vaihtoehtoa
 - › Yhden viisikirjaimisen sanan tiedon määrä = $\log_2(28^5) \approx 24$ bittiä
 - koska merkkijonoja ei käytetä satunnaisesti, normaalin tekstin informaation määrä on pienempi

Shannonin lause

- » Informaatioteorian yläraja tietoliikenteelle

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad [\text{bit/s}]$$

- › B = kaistanleveys [Hz = 1/s]
- › S = vastaanotetun signaalin teho
- › N = kohinateho

Pohdittavaa:

Mikä on teoreettinen kapasiteetti, jos signaalikohinasuhde on +30 dB ja kaistanleveys on 1 MHz?

$$30 \text{ dB} = 1000:1 \approx 2^{10}:1, \text{ joten } C \approx 10 \text{ Mbit/s}$$

Huomaa
2-kantainen
logaritmi!

Tehot (S ja N)
watteina,
ei desibeleinä!

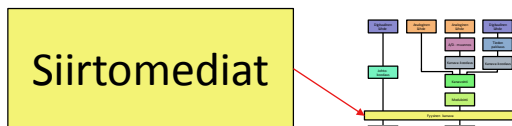
Shannonin lause



- » Vieläkö joku muistaa ulkoa?
- » Pitäisikö antaa tentissä, jossa kaavaa tarvitsee?
- » Päätös luennolla käydyn keskustelun perusteella:
Shannonin kaavaa ei anneta tentissä eli se pitää tarvittaessa muistaa tentissä
- » (desibelin määritelmä pitää osata ulkoa!)

ELEC-C7110

65



- » Avojohto
 - › Ensimmäiset puhelinyhteydet: yksijohtiminen teräslanka
→ Avojohtinpari → kupari → välivahvistimet
- » Kierretty parikaapeli
- » Koaksiaalikaapeli
- » Valokuitu
- » (Ilmatie ⇒ myöhemmin tällä kurssilla)

ELEC-C7110

66

Jo ennen puhelinkaapeleita...



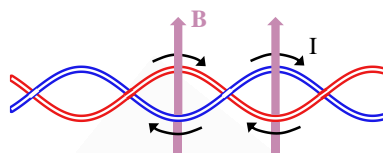
Pätkä 3000 km pituista kaapelia joka yhdisti Pohjois-Amerikan ja Euroopan 1874 - 1931

ELEC-C7110

67

Kierretty parikaapeli

- » Johtimien kiertäminen vähentää olennaisesti häiriötä
 - › Aluksi epätasalaatuisia ja häiriöherkkiä
- » Suurilla nopeuksilla tarvitaan lisäksi suojausta
 - › jottei kaapelista tule antennia
- » Kaistanleveys
 - › Cat 6 (yleisin): 250 MHz, 10G Ethernet
 - › Cat 8 : 1.6 - 2 GHz (kehitteillä)



Suojaamaton kat6
<http://www.slo.fi/www/fi/Tuotteet/Tuoteluettelo/Sivut/tuotetietosivu.aspx?partno=0264652>

ELEC-C7110

68

USB: *Universal Serial Bus*



- » Sarjamuotoinen väylä
 - › Type A: 4 johdinta: kaksi datalle, käyttöjännite (+5V) ja maa
- » NRZI-koodaus (Non-Return-to-Zero Inverted)
 - › "1-bitti" esitetään tilamuutoksella ja "0-bitti" ilman tilamuutosta
- » Standardit
 - › USB 1.1 12 Mbit/s
 - › USB 2.0 480 Mbit/s
 - › USB 3.0 4,8 Gbit/s
 - › USB 3.1 10 Gbit/s

ELEC-C7110

69

USA/B - kevennys



Mikko tweets from '11
@mikko_2011

What's the difference between USA and USB?



Alfie John
@alfiedotwf

One connects to all your devices and accesses your data, the other is a hardware standard

ELEC-C7110

70

Koaksiaalikaapeli



- » Kehitettiin koska kierretystä parikaapelista ei osattu tehdä tarpeeksi tasalaatuista
 - › koaksiaalikaapeli oli tässä suhteessa helpompi!
- » Koaksiaalikaapelin sisä- ja ulkojohtimien välillä on suuri kapasitanssi \Rightarrow signaali vaimenee koaksiaalikaapelissa enemmän kuin parikaapelissa



ELEC-C7110

71

Valokuitu



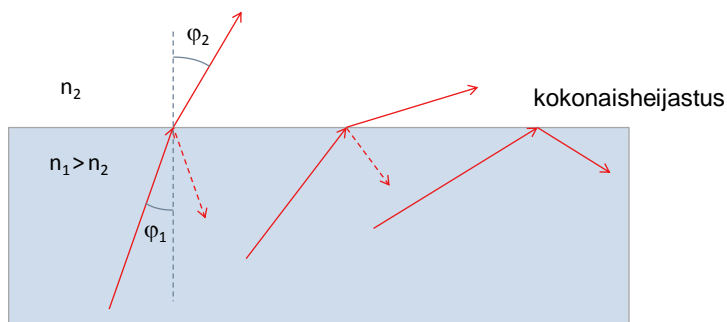
- » 1966: 1. toimivat laitteet
- » 1976: 1. kaupalliset järjestelmät (45 Mbit/s)
- » 1988: Atlantin ali 40000 kanavaa
- » 2001: Atlantin ali 3,2 Tbit/s
- » 2006: yhdellä kuidulla 14 Tbit/s
 - › Esim: jokaiselle suomalaiselle 2,6 Mbit/s
- » Ilman välivahvistimia jopa 70-150 km
- » Kuitua tuotetaan \sim 200 miljoonaa km vuodessa



ELEC-C7110

72

Valokuitu - heijastukset



ELEC-C7110

73

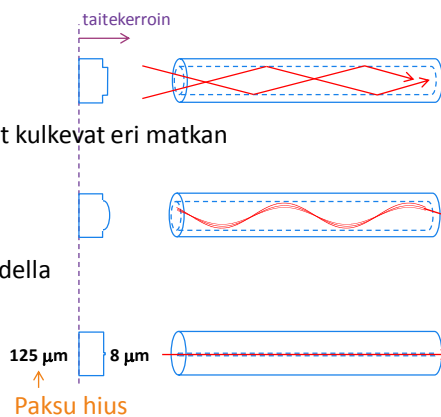
Valokuitujen tyypit

» Monimuoto

- › Askeltaitekertoiminen vain lyhyillä matkoilla, koska eri tulokulmista tulevat säteet kulkevat eri matkan
- › Asteittaistaitekertominen parempi sillä pitemmän matkan kulkevat säteet kulkevat suuremmalla nopeudella

» Yksimuoto

- › Kuidun ytimen paksuus vain muutama aallonpituus, ei dispersio-ongelmaa
- › Mahdollistaa erittäin suuret nopeudet ja pitkät siirtovälit



ELEC-C7110

74

Optinen kuitu – edut ja haasteet



Mitkä ovat optisen tiedonsiirron keskeisimmät edut? Ottaen huomioon sen edut, miksi optista kuitua ei ole kuitenkaan vedetty jokaiseen kotiin?

- » Suuri kapasiteetti (> 100 Gbit/s)
- » Pitkä siirtomatka (jopa satoja kilometrejä)
- » Häiriöttömyys ja luotettavuus (jos kaapelia ei rikota)

- » Suurin kustannus on kaapelin vetäminen
 - › Varsinkin kaupunkioiloissa kallista
 - › Maksuhalukkuus ei yleensä riittävän korkea, silloin kun mobiilipalveluiden kapasiteetti riittää

ELEC-C7110

75

Kurssi jatkuu ...



- » Huomenna klo 12:15 – 14:00
 - › Laskuharjoitus
 - Shannon

- » Ensi viikolla:
 - › Verkot ja Erlang



ELEC-C7110

76