Helsinki University of Technology
Laboratory of Telecommunications Technology

S-38.211 Signaalinkäsittely tietoliikenteessä I
Signal Processing in Communications (2 ov)

Syksy 1998
1. Luento: Johdanto

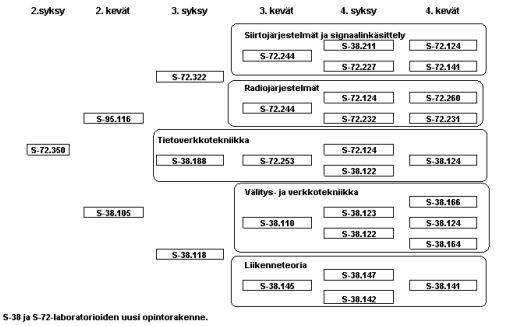
prof. Timo Laakso
Vastaanotto torstaisin klo 10-11
Huone G210, puh. 451 2473
Sähköposti: timo.laakso@hut.fi

Opintojakson asema

Teletekniikan (S-38) ja Tietoliikennetekniikan (S-72) yhteinen opetuspaketti: 5 polkua, joista yksi on *Siirtojärjestelmät ja signaalinkäsittely*

- S-72.244 Digital Modulation and Coding (Digitaalinen modulaatio ja koodaus) antaa perustiedot modulaatiomenetelmistä ja koodauksesta
- S-72.227 Digital Communication Systems (Digitaaliset siirtojärjestelmät) painottuu *johtosiirto*järjestelmiin
- S-72.232 Radioliikennejärjestelmät paneutuu *langattomiin* järjestelmiin
- S-38.211 johdattaa *signaalinkäsittelyn menetelmiin* joita käytetään sekä johtosiirto- että langattomissa järjestelmissä

Tietoliikennetekniikan polut



S-38 ja S-72-laboratorioiden uusi opintorakenne.

Opintojakson tavoite

Keskeiset *signaalinkäsittelyfunktiot* käytännön tietoliikennejärjestelmissä:

- *Pulssinmuokkaus:* sovitettu suodatin, Nyquistin kriteeri
- *Adaptiivisten korjaimien* toimintaperiaatteiden ja suorituskyvyn ymmärtäminen
- *Kaiunpoiston* periaate ja toteutustavat
- Kanavan *kapasiteetti* ja signaalinkäsittelyn mahdollisuudet
- Signaalinkäsittely*järjestelmien* suunnittelu ja *toteuttaminen* (2 vierailuluentoa)

Esitiedot

- Perustiedot digitaalisesta signaalinkäsittelystä ja digitaalisesta siirtotekniikasta
- *Suositellaan* opintojaksoja:
  - Tik-61.145 Signaalien digitaalisen käsittelyn per.
  - S-72.116 Signaalit ja järjestelmät
  - S-72.322 Televiestintäjärjestelmät
  - S-72.244 Digital modulation and coding (voi suorittaa samana syksynä!)

  tai vastaavat tiedot

Opetus

- *Luennot* ke klo 9-11 sali E110 (Timo Laakso)
- *Laskuharjoitukset:* ke 11-13 (Amoakoh Gyasi-Agyei)
  - n. 4 laskuharjoitusta (ks. aikataulu)
  - lisäksi *vapaaehtoisia kotilaskuja*, korottavat arvosanaa
- *Harjoitustyö:* (Petri Karttunen)
  - toteutetaan tiedonsiirtoyhteyteen adaptiivinen korjain
  - Työympäristö: MATLAB
  - Työ tehdään pareittain, dokumentoidaan ja arvostellaan (vaikuttaa arvosanaan!)
  - Demo loka-marraskuussa, jolloin annetaan tarkat ohjeet

Kurssin suorittaminen

- Kurssille ilmoittauduttava www-Topilla!!!!!!! (Tiedotukset mahd. aikataulumuutoksista yms. sähköpostilla!)
- Opintojakso suoritetaan tentillä ja harjoitustyöllä (+ vapaaehtoiset kotilaskut)
- Tenttivaatimuksena on luennoilla (mukaanlukien vierailuluennot!) ja harjoitustyön yhteydessä esitetty aineisto

Loppuarvosana

- Kurssin suoritukseen vaaditaan *hyväksytty* tentti *ja* harjoitustyö
- Lopullinen arvosana muodostuu tentistä ja harjoitustyöstä:

$$A_{tot} = 0.8 \times A_{tentti} + 0.2 \times A_{harj}$$

- Kotilaskuista *max 4 pistettä tenttiin* (5 tehtävää á 6 pistettä = 30 pistettä, 14=1, 18=2, 22=3, 26=4, 30=5)

Kirjallisuus

- Luentomoniste (= kalvot)
- Luentokalvot www-sivuilla ennen luentoa (tavoite!)
- Tulevat myös opetusmonisteissa (kuten harjoitusmateriaali ym.)
- E. A. Lee ja D. G. Messerschmitt, *Digital Communication*. Kluwer, 2. painos 1994, soveltuvin osin (oheislukemisto!)
- Muuta suositeltavaa oheislukemista:
  - S. Haykin: *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall 1996 (3p).
  - J. Proakis, *Digital Communication Systems*, McGraw-Hill, 1995.

Alustava aikataulu ja sisältösuunnitelma

(versio 21.9.1998 - muutokset mahdollisia!)

Luennot: ke 9-11 E110 (Timo Laakso)

L1	23.9.98	Johdanto; digitaalisen tietoliikennejärjestelmän perusfunktiot
L2	23.9.	Pulssinmuokkaussuodatus. Sovitettu suodatin. Nyquistin kriteeri
L3	30.9.	Optimaalinen ML-vastaanotin. Viterbi-algoritmi
L4	7.10.	Kanavakorjaimet I

Alustava aikataulu ja sisältösuunnitelma

L5	14.10.	Kanavakorjaimet II
L6	21.10.	Adaptiiviset korjaimet I
L7	28.10.	Adaptiiviset korjaimet II
L8	4.11.	Kaiunpoisto
L9	11.11.	Kanavan kapasiteetti ja OFDM
L10	18.11.	Guest lecture: DSP for digital subscriber lines (?)
L11	25.11.	Kertausta
L12	2.12.	Guest lecture: DSP for mobile communications (?)

Tentti ke 9. 12. 1998 12-16 (Tarkista!)

(Toinen tentti tammikuussa, muulloin *vain* pyynnöstä)

Harjoitusaikataulu

Exercises: Wed 11-13 E110 (Amoakoh Gyasi-Agyei)

- Will be held in English
- Homework will be given after the session (also in the web)
- Return time: two weeks

H1	30.9.	Matched filters.
H2	7.10.	Viterbi algorithm.
H3	14.10.	Equalizers.
H4	21.10.	MSE gradient algorithm
	28.10.	*Nothing!*
H5	4.11.	MATLAB demo (by Petri Karttunen)

Changes possible!

Johdanto

- *Digitaalinen informaation siirto* korvaamassa analogista kaikilla tietoliikennetekniikan osa-alueilla
- *Digitaalinen signaalinkäsittely* mahdollistaa tehokkaiden järjestelmien ja laitteiden kehittämisen jotka hyödyntävät käytännön *kanavan siirtokapasiteetin* tehokkaasti
- *Analoginen suunnittelu* perustuu yksinkertaisten komponenttien tehokkaaseen toteuttamiseen -> suorituskyky jää usein kauas optimaalisesta
- *Digitaalinen suunnittelu*: perustuu tiedonsiirtoyhteyden matemaattiseen malliin ja lähetin-vastaanotinratkaisun optimointiin -> toteutus lähellä optimia

Johdanto

Esimerkkejä digitaalisista siirtojärjestelmistä

- PCM-tekniikka puheensiirtoon puhelinverkoissa
- ISDN-palvelu (Integrated Services Digital Network): datan ja/tai puheensiirtoon
- Ääniradio: DAB-järjestelmä (Digital Audio Broadcasting) tulossa 2000-luvun alussa
- Video ja TV: digitaalisia järjestelmiä tulossa eri siirtoteille
  - maanpäällinen radiojakelu
  - kaapeli-TV-verkot
  - satelliittilähetykset

Johdanto

- *Matkaviestimet*
  - digitaaliset matkapuhelinjärjestelmät voimakkaassa kasvussa (GSM yms.)
  - seuraavan sukupolven järjestelmät (UMTS, Universal Mobile Telecommunication System) kehitteillä
  - puhe + data, monen järjestelmän puhelimet jne.
- *Digitaaliset tilaajayhteydet* (DSL, Digital Subscriber Line)
  - HDSL, ADSL, VDSL jne. = xDSL
  - olemassaolevien kupariparien siirtokapasiteetin parempi hyödyntäminen (2-50 Mbit/s asti)

Johdanto

- *Kaapelimodeemit*:
  - datasiirtoa kaapeli-TV-verkoissa
  - 2-10 Mbit/s datasiirtoyhteys
  - kilpaileva vaihtoehto xDSL-tekniikoille taajamissa

Johdanto

Lähitulevaisuuden tärkeimmät kehityskohteet:

- Matkaviestimet
  - kännykkä jokaiselle
  - kommunikaattori datasiirtoyhteyksineen ammattikäyttöön
  - korvaa lankapuhelimen? (Kehitysmaat)
- Digitaalinen tilaajayhteys joka kotiin
  - sähköposti, pankki, tiedonhaku, viihde, pelit
  - www-palvelut, internet

Haastavia töitä tiedossa tietoliikenneinsinööreille!

Digitaalinen siirtojärjestelmä

- Claude Shannon 1948:
  A Mathematical Theory of Communication

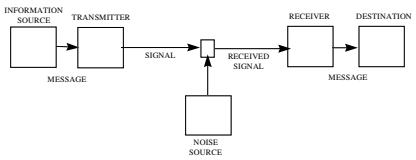


Fig. 1 -- Schematic diigarma of a general communication system.

Digitaalinen siirtojärjestelmä

- Shannonin perusideat:

1) *Lähteen koodaus*

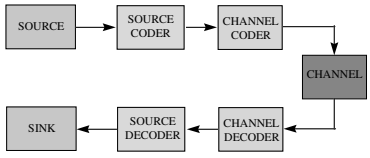
   Mikä tahansa signaali (puhe, kuva, mittausdata jne.) voidaan näytteistää, kvantisoida ja esittää halutulla tarkkuudella bittivirtana. Tämä bittivirta voidaan tiivistää sopivalla koodauksella (*lähteen koodaus*) bittivirraksi jonka nopeus on mielivaltaisen lähellä *lähteen entropiaa* eli informaationopeutta.

2) *Kanavakoodaus*

   Sopivalla *kanavakoodauksella* siirtovirhetodennäköisyys voidaan saada mielivaltaisen pieneksi koodauksen kompleksisuutta ja koodausviivettä kasvattamalla.

Digitaalinen siirtojärjestelmä

- Yleistetty digitaalinen siirtojärjestelmä:



Digitaalinen siirtojärjestelmä

Digitaalisen siirtojärjestelmän komponentit:

- Lähteen koodaus (Source coding)
  - signaalin bittinopeuden pienentäminen redundanssia poistamalla
- Kanavakoodaus (Channel coding)
  - kanavassa syntyvien virheiden vaikutusten pienentäminen (virheenkorjaus) redundanssia lisäämällä
- Modulaatio (Modulation)
  - bittivirran muuntaminen analogiseksi aaltomuodoksi joka soveltuu kanavaan

Digitaalinen siirtojärjestelmä

- Kanava (Channel)
  - vääristää signaalia ja lisää häiriöitä
- Kanavadekoodaus (Channel decoder)
  - korjaa kanavassa syntyneet virheet niin hyvin kuin mahdollista
- Lähteen dekoodaus (Source decoding)
  - palauttaa lähteen redundanssin ja rekonstruoi alkuperäisen bittivirran

Digitaalisen siirtojärjestelmän suunnittelu

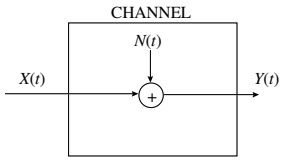
Käytettävissä olevien resurssien tehokas hyödyntäminen niin että saavutetaan

- haluttu siirtonopeus
- haluttu siirron laatu (riittävän pieni bittivirhesuhde, pieni viive jne.)

Tähän tarvitaan:

- tietoliikenneteorian ymmärrys
- kanavan ominaisuuksien tunteminen
- toteutusteknologian rajat (+ standardointi, lainsäädäntö jne.)
- menetelmien ja algoritmien tuntemus, analyysi, simulointi
  = *digitaalinen signaalinkäsittely*

Kanavan kapasiteetti



- Oletetaan:
  - jatkuva-aik. kaistarajoitettu signaali $X(t)$ (kaista 0..W Hz)
  - valkoista kaistaraj. Gaussin kohinaa $N(t)$ (AWGN)

Kanavan kapasiteetti

- Näytteenotto: kaistanleveyteen *W* rajoitetut jatkuvat signaalit voidaan esittää diskreetillä näytesekvenssillä joka on näytteytetty aikavälein $T = 1/(2W)$
- Informaatioteoreettisin tarkasteluin (Shannon) voidaan johtaa AWGN-kanavan kapasiteetti (*Hartley-Shannonin laki*):

$$C = W\log_2\left(1+\frac{\sigma_x^2}{\sigma_n^2}\right)$$

Kanavan kapasiteetti riippuu

- kaistanleveydestä (-> max. symbolinopeus)
- signaali-kohinasuhteesta (-> symboliaakkoston koko)

Kanavan kapasiteetti

Esimerkki: puhelinkanavan kapasiteetti

- Kaistanleveys $W = 3400$ Hz
- Signaali-kohinasuhde $SNR = 30$ dB (oletus)

Mikä on kanavan kapasiteetti?

Ratkaisu:

$$SNR = 10^{30/10} = 1000$$

$$C = 3400 \times \log_2(1001)\text{bit/s} = 33.9\text{kbit/s}$$

Tämä on tyypillistä normaalilla kupariparilla toteutetulla puhelinyhteydellä. Miten on mahdollista, että xDSL-tekniikoilla voidaan saavuttaa jopa 50 Mbit/s siirtonopeuksia?