



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

Syksy 1997

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 *johtosiirtojärjestelmiin*
- ◆ S-72.232 Radioliikennejärjestelmät paneutuu *langattomiin järjestelmiin*
- ◆ S-38.211 johdattaa signaalinkäsittelyn menetelmiin joita käytetään johtosiirto- ja langattomissa järjestelmissä



2.syksy

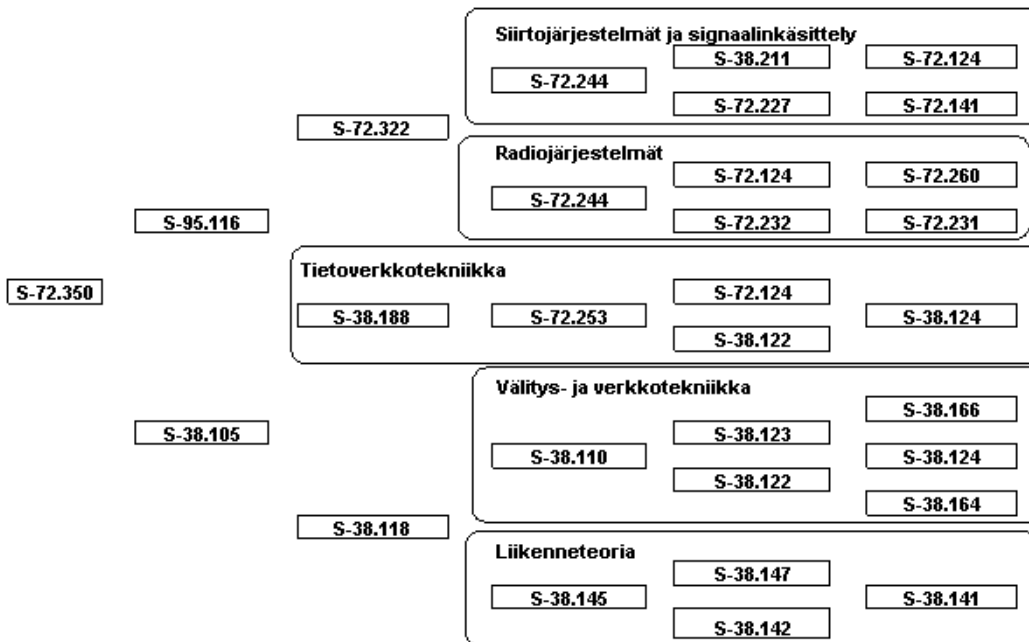
2. kevät

3. syksy

3. kevät

4. syksy

4. kevät



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
- ◆ Vastaanottimen *synkronoinnin* hallinta (vaihe-, kantaalto- ja symbolisynkronointi)
- ◆ *Kaiunpoisto* (jos ehditään!)
- ◆ *Signaalinkäsittelyjärjestelmien* suunnittelu ja toteuttaminen (vierailuluentoja)



- ◆ 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 (Stefan Werner)
  - 4 laskuharjoitusta
  - lisäksi *vapaaehtoisia kotilaskuja*, korottavat arvosanaa
- ◆ *Harjoitustyö*: (Petri Karttunen)
  - toteutetaan tiedonsiirtoyhteyteen adaptiivinen korjain
  - Työympäristö: MATLAB (Communications Toolbox?)
  - Työ tehdään pareittain, dokumentoidaan ja arvostellaan (vaikuttaa arvosanaan!)
  - Harjoitustyön ohjaus: DI Petri Karttunen



- ◆ Kurssille ilmoittauduttava [www-Topilla!!!!!!!](#) (Tiedotukset mahd. aikataulumuutoksista yms. sähköpostilla!)
- ◆ Opintojakso suoritetaan tentillä ja harjoitustyöllä (+ vapaaehtoiset kotilaskut)
- ◆ Tenttivaatimuksena on luennoilla 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)



- ◆ Luentomoniste (kalvot)
- ◆ E. A. Lee ja D. G. Messerschmitt, *Digital Communication*. Kluwer, 2. painos 1994, soveltuvien osin (oheislukemisto!)
- ◆ Muuta suositeltavaa oheislukemista:
  - S. Haykin: *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall 1996 (3p).
  - S. U. H. Qureshi: “Adaptive Equalization”, luku 12 kirjassa K. Feher (ed.): *Advanced Digital Communications Systems and Signal Processing Techniques*, Prentice-Hall 1987.
  - J. Proakis, *Digital Communication Systems*, McGraw-Hill, 1995.

## Alustava aikataulu ja sisältösuunnitelma



(Päivitetty 16.10.1997 - muutokset vielä mahdollisia!)

**Luennot: ke 9-11 E110 (Timo Laakso)**

|           |         |                                                                     |
|-----------|---------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>L1</b> | 24.9.97 | Johdanto<br>Digitaalisen tietoliikennejärjestelmän<br>perusfunktiot |
| <b>L2</b> | 1.10.   | Pulssinmuokkaussuodatus. Sovitettu suodatin.<br>Nyquistin kriteeri  |
| <b>L3</b> | 8.10.   | Optimaalinen ML-vastaanotin.<br>Viterbi-algoritmi                   |
| <b>L4</b> | 15.10.  | Lineaariset korjaimet                                               |



- L5** 21.10. Adaptiiviset korjaimet I (*ti klo 16-18 D301*)
- L6** 29.10. Adaptiiviset korjaimet II
- L7** 5.11. Kanavanestimointi
- L8** 12.11. Kaiunpoisto
- L9** 19.11. Murtoviivesuotimet. Synkronointi.  
Näytetaajuuden muunnokset
- L10** 26.11. Guest lecture: DSP for digital subscriber lines
- L11** 3.12. Guest lecture: DSP for mobile communications
- L12** 10.12. Kertausta

**Tentti ke 17. 12. 1997 9-12 sali S4**

## Harjoitusaikataulu



### Exercises: Wed 11-12 E110 (Stefan Werner)

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

- H1** 8.10. Matched filters.
- H2** 15.10. Viterbi algorithm.
- H3** 22.10. Equalizers.
- H4** 29.10. Fractional delay filters.
- H5** 3.11. Project work demonstration (MATLAB) by Petri Karttunen.



- ◆ *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 usein tiettyjen komponenttien tehokkaaseen toteuttamiseen -> suorituskyky kaukana optimaalisesta
- ◆ *Digitaalinen suunnittelu*: perustuu tiedonsiirtoyhteyden matemaattiseen malliin ja lähetin-vastaanotinratkaisun optimointiin -> toteutus lähellä optimia



### *Esimerkkejä digitaalisista siirtojärjestelmistä*

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



- ◆ *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 = xDSL
  - olemassaolevian kupariparien siirtokapasiteetin parempi hyödyntäminen (2-50 Mbit/s asti)



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





Lähitulevaisuuden tärkeimmät kehityskohteet:

- ◆ Matkaviestimet
  - kännykkä jokaiselle
  - kommunikaattori datasiirtoyhteyksineen ammattikäyttöön
  - korvaa lankapuhelimen? (Kehitysmat)
- ◆ 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*

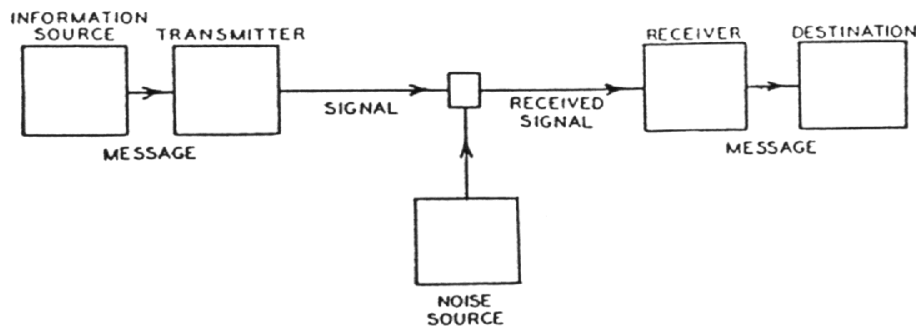


Fig. 1—Schematic diagram of a general communication system.



◆ Shannonin perusideat:

1) *Lähteen koodaus*

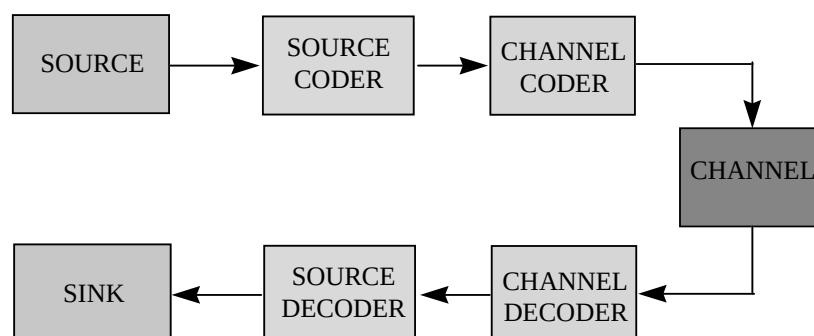
Mikä tahansa signaali (puhe, kuva, mittausdata jne.) voidaan näytteistää, kvantisoida ja esittää halutulla tarkkuudella bittivirtana. Tämä bittivirta voidaan tiivistää sopivalla koodauksella (*lähteen koodaus*) bittivirraksi jonka nopeus on mielivaltaisen lähellä *lähteen entropiaa* eli informaationopeutta.

2) *Kanavakoodaus*

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



◆ Yleistetty 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



- ◆ **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



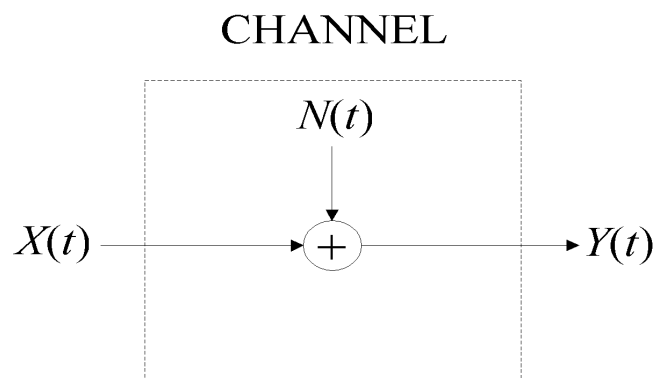
Käytettävissä olevien resurssien tehokas hyödyntäminen niin että saavutetaan

- ◆ haluttu siirtonopeus
- ◆ riittävän pieni bittivirhesuhde

Tähän tarvitaan:

- ◆ kanavan ominaisuuksien tunteminen
- ◆ tietoliikenneteorian ymmärrys, menetelmien ja algoritmien tuntemus, analyysi, simulointi
- ◆ toteutusteknologia
- ◆ standardointi

## Kanavan kapasiteetti



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



- ◆ Näytteenotto: kaistanleveyteen  $W$  rajoitetut jatkuvat signaalit voidaan esittää diskreetillä näytesekvenssillä joka on näytteytetty aikavälein  $T = 1/(2W)$
- ◆ Informaatioteoreettisin tarkastelu (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)



Esimerkki: puhelinkanavan kapasiteetti

- ◆ Kaistanleveys  $W = 3400$  Hz
- ◆ Signaali-kohinasuhde  $SNR = 30$  dB

*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?