



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

Syysy 1998
1. Luento: Johdanto

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

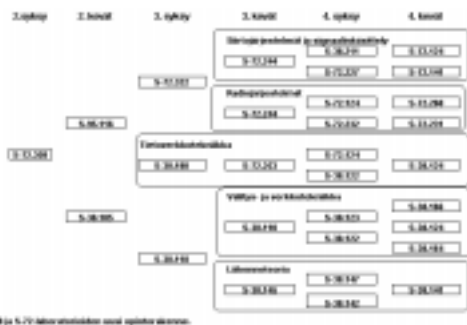
Opintojakson asema



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

Tietoliikennetekniikan polut



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
- ◆ *Signaalinkäsittelyjärjestelmien* 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 *hyväksytyt 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 radiojako
 - 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



Lähtitulevaisuuden tärkeimmät kehityskohteet:

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

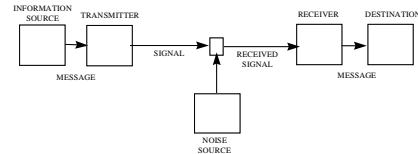


Fig. 1 -- Schematic diagram of a general communication system.

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.

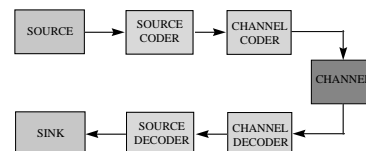
2) Kanavakoodaus

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 häiriötä
- ◆ 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



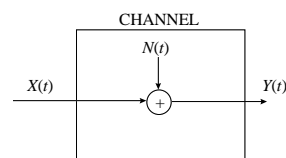
Käytettävissä olevien resurssien tehokas hyödyntäminen niin että saavutetaan

- ◆ 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 näytetty 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?