



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

Syksy 1997

8. Luento: Kaiunpoisto

prof. Timo Laakso

Vastaanotto torstaisin klo 10-11

Huone G210, puh. 451 2473

Sähköposti: timo.laakso@hut.fi

KAIUNPOISTO (LM19)



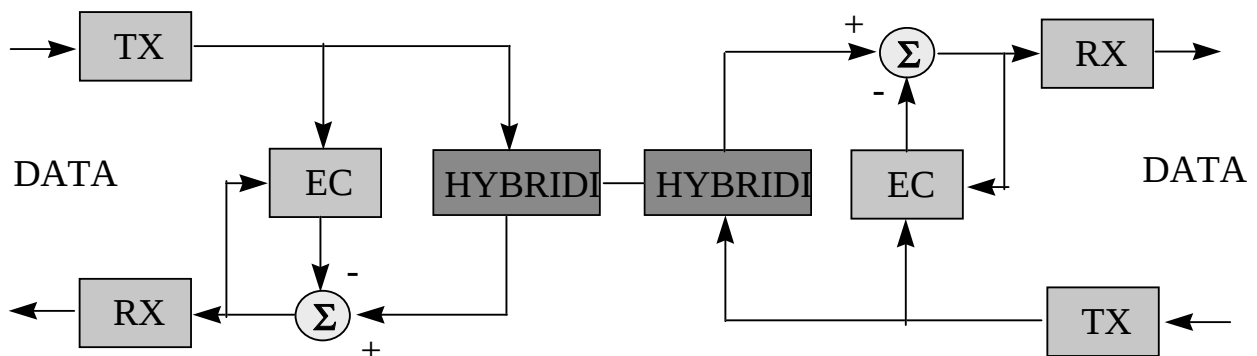
- ◆ Tavallinen puhelinyhteys käyttää yhtä johtoparia kaksisuuntaiseen lähetykseen. Oma puhe kuuluu myös omasta mikrofoniasta, mutta se ei häiritse kunhan se ei sisällä riittävän viiveen päästä saapuvaa *kaukopään kaikua* (esim. satelliitin kautta siirrettävät ulkomaan puhelut). Toiminta on itse asiassa lähempänä *simplex*-lähetystä kuin *full-duplexia* - hyviin tapoihinhan kuuluu puhua vuorotellen.
- ◆ *Kaiunpoisto* mahdollistaa samaan tapaan *samanaikaisen, kaksisuuntaisen* tiedonsiirron samalla taajuuskaistalla datayhteyksillä. Näin säästetään kaistanleveyttä.



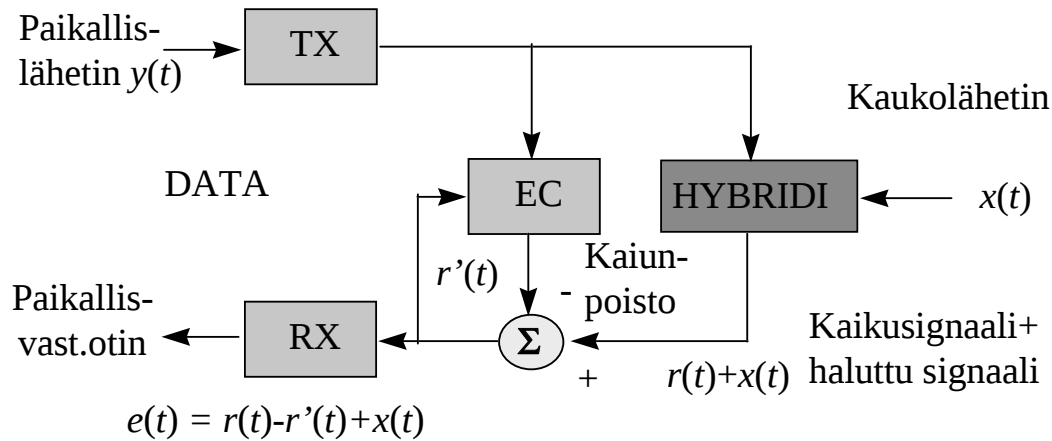
Kaiunpoistaja toimii kaksisuuntaisen linkin molemmissa päissä ja sen toimintaidea on seuraava:

- 1) Tunnetaan (opitaan adaptiivisesti) *siirtofunktio* omasta lähettimestä omaan vastaanottoimeen
- 2) Muodostetaan *kaiun kopio*
- 3) Vähennetään kopio vastaanotetusta signaalista jolloin jäljelle jää *toisen lähettimen* lähettämä signaali.

Kaksisuuntainen johtotransmissio



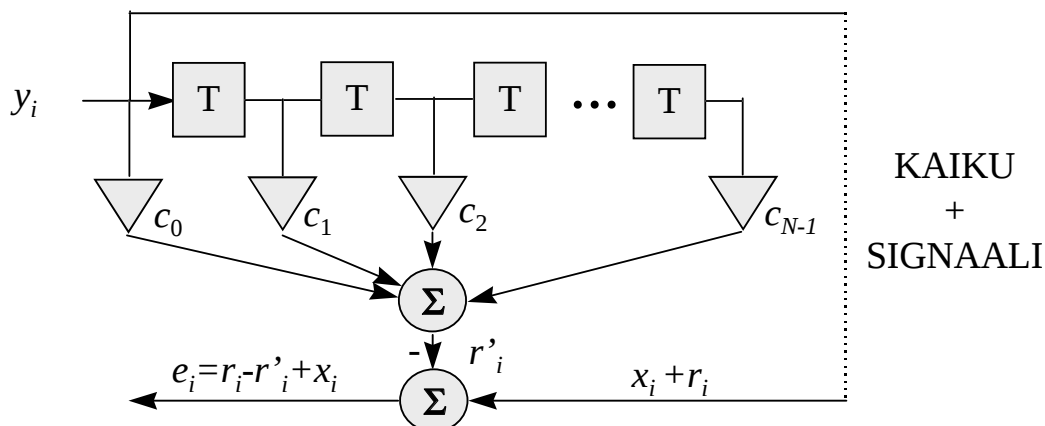
- ◆ **Kuvassa 19-1** on kaiunpoistomenetelmä kaksisuuntaiselle tiedonsiirrolle. *Hybridi* on moduuli, joka toteuttaa virtuaalisen nelijohdinkytken. *Kaiunpoistaja*, (echo canceler, EC), on adaptiivinen FIR-suodatin, joka oppii hybridin vasteen ja muodostaa lähetetyn signaalin kopion.



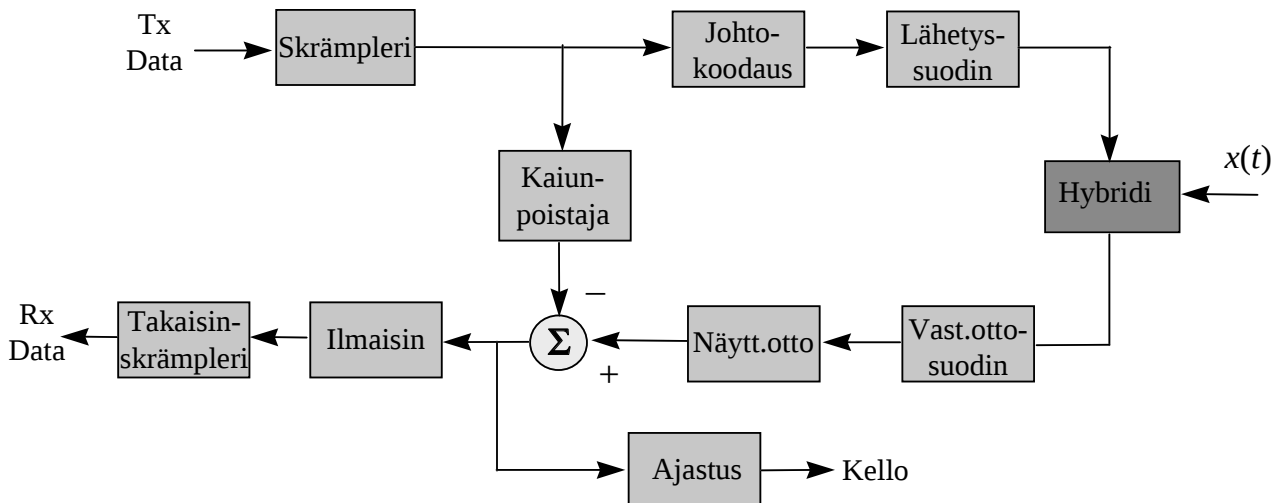
- ◆ Kuvassa 19-2 on kaiunpoistajan signaalitason tarkastelu.
- ◆ Näemme, että paikallinen vastaanotin saa kaukolähettimen signaalin, jos malli on *konvergoitunut*

$$e(t) = r(t) - \hat{r}(t) + x(t) \Big|_{r(t) = \hat{r}(t)} = x(t)$$

FIR-suodinn rakenne kaiunpoistoon



- ◆ Kuvassa 19-3 on kaiunpoistoon soveltuva FIR-suodatin, jonka kertoimien adaptointi voidaan tehdä *stokastisella gradienttialgoritmillä*.



- ◆ Kuvassa 19-4 on kaaviokuva kaksisuuntaisesta, digitaalisesta tilaajaliittymästä.

...Kaiunpoistovastaanottimen lohkokaavio



- ◆ *Skrämpleri* muokkaa signaalia sellaiseksi, että ajoituksen muodostus onnistuu vastaanottimessa
- ◆ *Johtokoodauksella* vaikutetaan signaalin spektriin, (vaikkapa poistetaan DC-komponentti),
- ◆ *Lähetys-suodatin* vaimentaa korkeita taajuuksia (RFI, ylikuuluminen)
- ◆ *Kaiunpoistaja* sijoitetaan kohtaan, jossa kaikureitti on lineaarinen
- ◆ *Vastaanottosuodatin* estää laskostumisen
- ◆ Seuraavaksi signaali *näytteistetään*
- ◆ *Kaiunpoiston* jälkeen suoritetaan *ilmaisu*
- ◆ Ilmaistu bittijono viedään lopuksi *takaisinskrämplerille*



- ◆ Näytteenottotaajuutta valittaessa on huomioitava kaksi asiaa: kaiunpoistajan *monimutkaistuminen* ja *ajoituksen* muodostuksen helppous.
- ◆ *Datan* kannalta katsoen symbolitaajuinen näytteenotto on riittävä, mutta *ajoituksen muodostus* tarvitsee yleensä symbolitaajuuteen nähden kaksinkertaisen taajuuden.
- ◆ Tästä syystä kaiunpoistajalla on usein *eri näytteenottotaajuudet* sisäänmenossa ja ulostulossa.

Kantataajuinen kanava (LM 19.2)

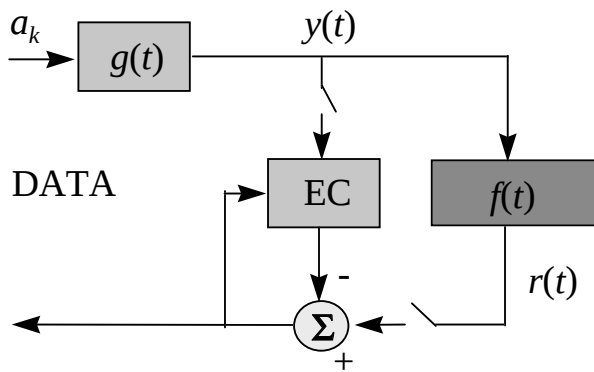


- ◆ *Kantataajuisen kanavan* kaiunpoisto eroaa huomattavasti *päästökaistakanavan* kaiunpoistosta. Tarkastelemme seuraavaksi lähetettyä PAM-signaalia

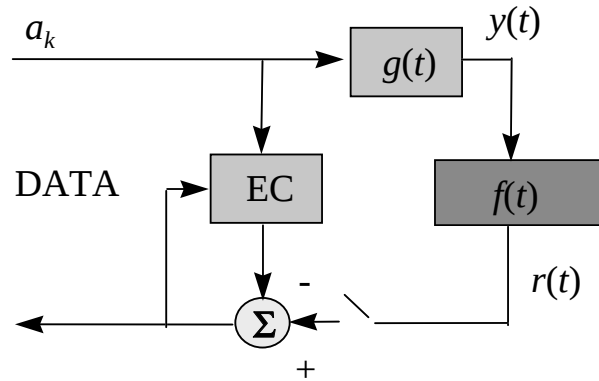
$$y(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m g(t - mT) \quad (19.1)$$

- ◆ Kaikureitin siirtofunktio on $F(j\omega)$. Määritellään lisäksi $h(t) = g(t) * f(t)$, jolloin saamme *kaikuvasteen* muotoon

$$r(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m h(t - mT) \quad (19.2)$$



a)



b)

- ◆ Kuvassa 19-5 on esitetty kaksi vaihtoehtoa kantataajuisen kanavan kaiunpoistoon:

...Kantataajuinen kaiunpoistaja



- ◆ Koska lähetetyn signaalin ja kaiun kaistaleveys on suurempi kuin puolet symbolinopeudesta, niin Kuvan 19-5a tapauksessa tarvitaan näytetaajuus, joka on yli kaksi kertaa symbolitaajuus.
- ◆ Kuvan 19-5b tapauksessa sisäänmenon näytteenotto on symbolitaajuisista, mutta ulostulon näytetaajuuden pitää olla korkeampi!



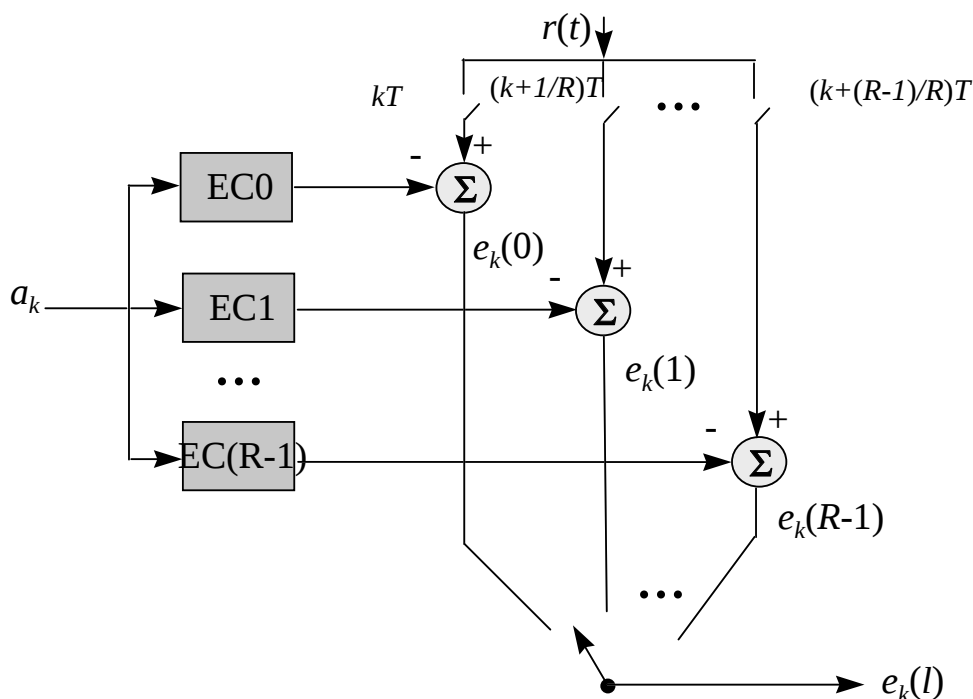
- ◆ *Lomitetut* kaiunpoistajat ovat ratkaisu näytetaajuuksien yhteensopivuusongelmaan. Koska lähetyskello on saatavilla, on luonnollista näytteistää kaikusignaalia taajuudella, joka on symbolitaajuuksien kokonaiskerrannainen ($= R$). Vastaanotetun kaikusignaalin näytteet ovat nyt

$$r_k(l) = r\left(\left(k + \frac{l}{R}\right)T\right), \quad 0 \leq l \leq R-1 \quad (19.3)$$

missä k edustaa symbolin näytteenottohetkeä. Tämä esitysmuoto johtaa luontevasti *lomitettuun kaiunpoistajaan* (**Kuva 19-6**):

$$h_k(l) = h\left(\left(k + \frac{l}{R}\right)T\right), \quad 0 \leq l \leq R-1 \quad (19.4)$$

$$r_k(l) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_m(l) a_{k-m} \quad (19.5)$$



- ◆ **Kuva 19-6.** Lomitettu kaiunpoistaja



- ◆ Kaikukanavan näytteet voidaan näin *tulkita* R :n riippumattoman kanavan näytteiksi. Jokaiseen kuviteltuun kanavaan syötetään identtinen symbolisekvenssi.
- ◆ Yhden haaran FIR-suodin muodostaa *kaikuestimaatin*

$$\hat{r}_k = \sum_{m=0}^{N-1} c_m a_{k-m} \quad (19.6)$$

- ◆ Adaptiivisen lomitetun kaiunpoistajan kaikki FIR-haarat konvergoituvat itsenäisesti. Tästä on mm. se hyöty, että *kokonaisuuden* konvergoituminen tapahtuu *rinnakkaisesti* (=nopeasti). Ulostulon näytetaajuuden valinta perustuu siis toteutuksen monimutkaisuuden minimoimiseen.



- ◆ **Kuvan 19-5b** mukaisella lomitetusti toteutetulla kaiunpoistajalla on siten *kiistattomia etuja* **Kuvan 19-5a** rakenteeseen verrattuna:
- ◆ 1) Lomitetun kaiunpoistajan sisäänmenona on symbolisekvenssi, jonka bittitarkkuus voi olla hyvin pieni ==> tarvittavat *kertojat* ovat *yksinkertaisia*
- ◆ 2) Lomitetut FIR-kaiunpoistajat ovat lyhyitä ja toisistaan riippumattomia ==> *nopea adaptointi*
- ◆ 3) Lomitettujen rakenteiden vaatima *kertolaskuintensiteetti* on pienempi.



◆ Esimerkki 19-7

- ◆ Jos vastaanotetun signaalin näytteenottotaajuus on R näytettä per symboli ja kaikureitin impulssivasteen tehollinen pituus on N symboliväliä, **Kuvan 19-5a** konvoluutiosummassa on NR kerrointa, jotka lasketaan R kertaa per symboli (kertolaskutiheys on $NR^2 \cdot \text{symbolinopeus}$).
- ◆ Kuvan 19-5b kullakin R :llä lomitetulla kaiunpoistajalla on N kerrointa (kertolaskutiheys on NR). Siksi jälkimmäinen rakenne on yleisimmin käytössä.

Adaptointi (LM 19.4)



- ◆ Adaptiivisella kaiunpoistajalla on *kaksi* keskeistä suorituskkyä kuvaavaa ominaisuutta:
 - *adaptointinopeus* ja
 - adaptoituneen järjestelmän *kaiunpoistotarkkuus*
- ◆ Nämä ominaisuudet korreloivat yleensä negatiivisesti, eli kun kaiunpoistotarkkuus huononee, adaptointinopeus kasvaa. Käytännön järjestelmiin pitää löytää hyvä kompromissi.
- ◆ Koska johtimien ominaisuudet muuttuvat yhteyden aikana yleensä hyvin hitaasti, adaptointinopeus on tärkeä lähinnä järjestelmän *käynnistystilanteessa* (äänitaajuusmodeemi).

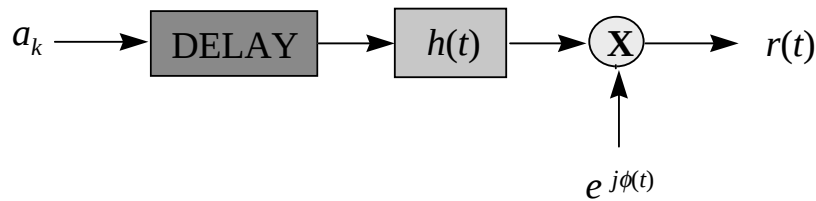


- ◆ Modeemeissa käytetäänkin usein yhteyden alussa nopeasti konvergoituvaa (ja epätarkempaa) adaptointi-algoritmia. Tarkkaa kaiunpoistoa tarvitaan vasta opetusjakson jälkeen.
- ◆ Yleisin adaptointialgoritmi kaiunpoistosovelluksissakin on *stokastinen gradienttialgoritmin (SG)*. Optimaalinen MMSE-ratkaisu voidaan johtaa samaan tapaan kuin korjaimille, josta saadaan suoraan SG-algoritmi.
- ◆ Pidättäydymme jälleen yksityiskohtien tarkastelusta.

Kaukopään kaiku (LM 19.5)

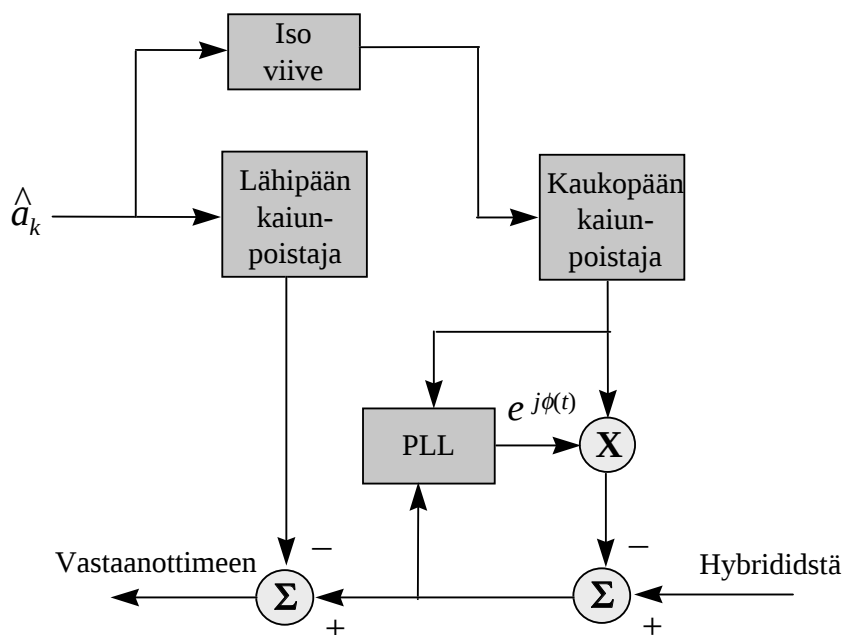


- ◆ Äänitaajuusmodeemeissa kaikua voi syntyä myös heijastuksena kauempaa kuin lähetyspäästä. Tällöin puhumme *lähikaiun* sijasta *kaukokaiusta*. Kaukokaiut syntyvät puhelinverkon erilaisissa kytkentäpisteissä ja ne ovat voimakkaammin vaimentuneita kuin lähikaiku. Siksi niiden poistoon riittää pienempi tarkkuus.
- ◆ Toisaalta kaukokaiut voivat sisältää *taajuusvärinää* ja jopa *taajuusoffsetia*, minkä takia niiden vaimentaminen on ongelmallisempaa.



- ◆ Lähikaikuun verrattuna **Kuvan 19-11** malli kaukopään kaiulle sisältää kaksi *lisäominaisuutta*:
 - *lisäviive*, joka edustaa etenemisviivettä lähettimen ja siirtokanavassa olevan kaikupisteen välillä
 - aikavariantti *modulaattori*, joka edustaa kantoaallon vaihevärinää ja taajuusoffsetia

Lähi- ja kaukokaiun poistaja



Kuvassa 19-12 on esitetty lähikaiun ja kaukokaiun poistava järjestelmä modeemisovellutukseen.



- ◆ Kaiunpoistajien tutkimus- ja kehitystyö kohdistuu nykyisin *adaptointinopeuden kasvattamiseen ja epälineaaristen kaikanavien kumoamiseen.*
- ◆ Epälineaarisia kaiunpoistajia voidaan toteuttaa esim. *neuraaliverkoilla.*

Päivitetty aikataulu ja sisältösuunnitelma



(Päivitetty 20.11.1997)

Luennot: ke 9-11 E110 (Timo Laakso)

L1	24.9.97	Johdanto Digitaalisen tietoliikennejärjestelmän perusfunktiot
L2	1.10.	Pulssinmuokkaussuodatus. Sovitettu suodatin. Nyquistin kriteeri
L3	8.10.	Optimaalinen ML-vastaanotin. Viterbi-algoritmi
L4	15.10.	Lineaariset korjaimet I



- L5** 21.10. Lineaariset korjaimet II (*ti klo 16-18 D301*)
- L6** 29.10. Adaptiiviset korjaimet I
- L7** 5.11. Adaptiiviset korjaimet II
- L8** 12.11. Kaiunpoisto
- L9** 19.11. Kanavan kapasiteetti ja OFDM
- L10** 26.11. Guest lecture: DSP for digital subscriber lines
DI Jarmo Nieminen, Tellabs
- L11** 3.12. Guest lecture: DSP for mobile communications
TkL Timo Huuhtanen, NMP
- L12** 10.12. Kertausta

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