

## Laajaverkot (WAN)

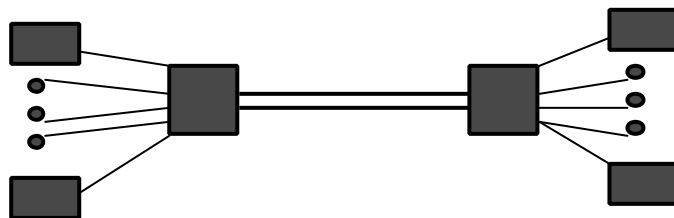
### ☉ Puhelinverkko

- runkolinjat
  - digitaalisia, kuitua
- local loop
  - analoginen, kierretty pari
- kanavointi

## Kanavointi (multiplexing)

### ☉ Kanavointi (tai limitys)

- runkolinja yhteiskäytössä



## T1 Carrier

- **24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen**

- **näyte = 8 bittiä, joista yksi pariteettibitti**

–  $7 \cdot 8000 = 56\,000$  bps dataa ja 8000 bps signallointi-infoa

- **kehys:**

–  $24 \cdot 8 = 192$  bittiä

– + kehystysbitti: 01010101010101 ....

– 193 bittiä/125 ms  $\Rightarrow$  1.544 Mbps

24.1.2001

62

- $T2 = 4 \cdot T1 + \text{tahdistusbitit} = 6.312$  Mbps
- $T3 = 6 \cdot T2 + \text{tahdistusbitit} = 44.736$  Mbps
- $T4 = 7 \cdot T3 + \text{tahdistusbitit} = 274.175$  Mbps

- $E1 = 2.048$  Mbps

- $32 \cdot 8$  bittiä dataa, joista 30 dataa varten ja 2 signallointiin

- $E_{i+1} = 4 \cdot T_i \Rightarrow 8.848, 34.304, 139.264, 565.148$  Mbps

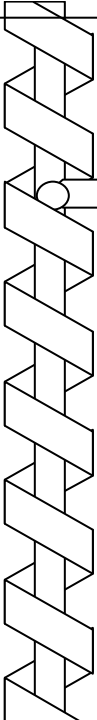


## CCITT PCM

- vähemmän signalontia,
  - 8 bittiä dataa,
  - common channel signaling
    - kehysbitti: 1010101010 ... parittomissa kehyksissä
  - channel associated signaling
    - kullakin kanavalla oma signalointi alikanava
      - » yksi bitti joka kuudennesta kehyksestä

24.1.2001

64



## E1 (2.048 Mbps)

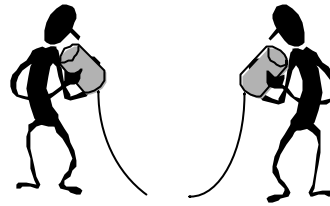
- **32 kanavaa**
  - 32 näytettä a' 8 bittiä => 2.048 Mbps
  - 30 datakanavaa
  - 2 signalointikanavaa eli 16 bittiä/kehys
    - neljä kehystä => 64 bittiä signalointidataa
    - 32 bittiä kanavien signalointiin
    - 32 bittiä kehyssynkronointiin + maakohtaisiin tarpeisiin

24.1.2001

65

## SONET/SDH (ss. 125-130)

- SONET (Synchronous Optical Network)
  - Bellcore
- SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
  - ITU-T
  - eroaa vain hyvin vähän
- korvaamaan eri tahoilla kehitetyt optiset TDM-käytännöt



24.1.2001

66

## Tavoitteet

- kauk puhelun fyysisen kerroksen standardi
  - operaattoreiden yhteistoiminta
    - aallonpituus, ajoitus, kehysrakenne, ...
  - PCM-kanavoinnin 'yhtenäistäminen'
  - digitaalikanavien limitys runkolinjoihin
    - T3 =>
  - toiminnan, hallinnan ja ylläpidon tuki
    - OAM

24.1.2001

67



• TDM

- yksi kanava, josta aikaviipaleita alikanaville

• synkroninen

- master clock, tarkkuus  $\sim 1/10^{**9}$
- bitit lähetään kellon tahdissa

• kehys

- 810 tavua, 125 ms välein (~ PCM-näytteenottoa)
- lähetetään, oli dataa tai ei

24.1.2001

68



• SONET-järjestelmä koostuu

- kytkimistä
- kanavointilaitteista
- toistimista

• yhteyshierarkia

- sektio: kuitu kahden laitteen välissä
- linja: kahden kanavointilaitteen väli
- polku: lähteen ja kohteen väli

24.1.2001

69



## SONET-kehys

- 810 tavua =
  - 9 riviä, jolla kullakin 90 saraketta
    - kehyksen 3 ensimmäistä saraketta hallintaa varten
      - kolmella ensimmäisellä rivillä 'section overhead'
      - kuudella viimeisellä 'line overhead'
    - 87 saraketta käyttäjän dataa =>  
SPE (Synchronous Payload Envelope)
      - $87 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 8000 = 50.112$  Mbps

24.1.2001

70



## SPE

- kuljetushallinnon yksikkö
- alkaa mistä tahansa kohtaa kehystä
  - osoitin alkuun
    - 'line overhead' 1. rivillä
  - voi jatkua toiselle kehykselle
  - ei tarvitse odottaa kehyksen alkua
  - esim. atm-solukuorma sopii paremmin
- SPE:n 1. sarake 'path overhead'

24.1.2001

71

## Datavirtojen limitys

- siirtonopeus

- $8 \cdot 810 = 6480$  bittiä  $\Rightarrow 51.84$  Mbps  $\Rightarrow$  STS-1 (Synchronous Transport Signal-1)

- limitys

- kolme STS-1  $\Rightarrow$  STS-3
- neljä STS-3  $\Rightarrow$  STS-12
- ...  $\Rightarrow$  STS-48 = 2488.32 Mbps

- limitys tavuittain

24.1.2001

72

## X.25 (ss.59-60)

- ensimmäinen **julkinen** pakettikytkentäinen teknologia, maks 64 kbps

- kehitettiin 70-luvun lopussa, käytössä 90-luvulla, nyt väistymässä
- vanhanaikaiseen puhelinverkkoon

- vanhoja kuparikaapeleita  $\Rightarrow$  paljon virheitä

- $\Rightarrow$  **HDLC-tyyppinen siirtoyhteysprotokolla**

- virhetarkistus ja kuittaus sekä vuonvalvonta joka linkillä

- tyhmiä päätteitä  $\Rightarrow$  älykkyys verkkoon

24.1.2001  $\Rightarrow$  **virtuaalipiiriverkko**

73



## Frame Relay (ss. 60-61)

### • “second-generation X.25”

- kehitettiin 80-lopussa, käytössä 90-luvulla
- virtuaalipiiriverkko (usein pysyvä)
- ei virhevalvontaa, ei vuonvalvontaa
  - lasikuitulinkit lähes virheettömiä
- käytetään LANien yhdistämiseen
  - IP-liikennettä eri konttoreiden välillä
  - luotettavampi kuin Internet
- 64 kbps ... 1.544 Mbps



## Frame relay

### • ‘virtual leased line’

– vastaa vuokralinjaa kahden pisteen välillä

### • nopeus 1.5 Mbps

- ‘purskeet’ täydellä nopeudella
- keskimääräinen lähetysmäärä ei saa ylittää sovittua tasoa

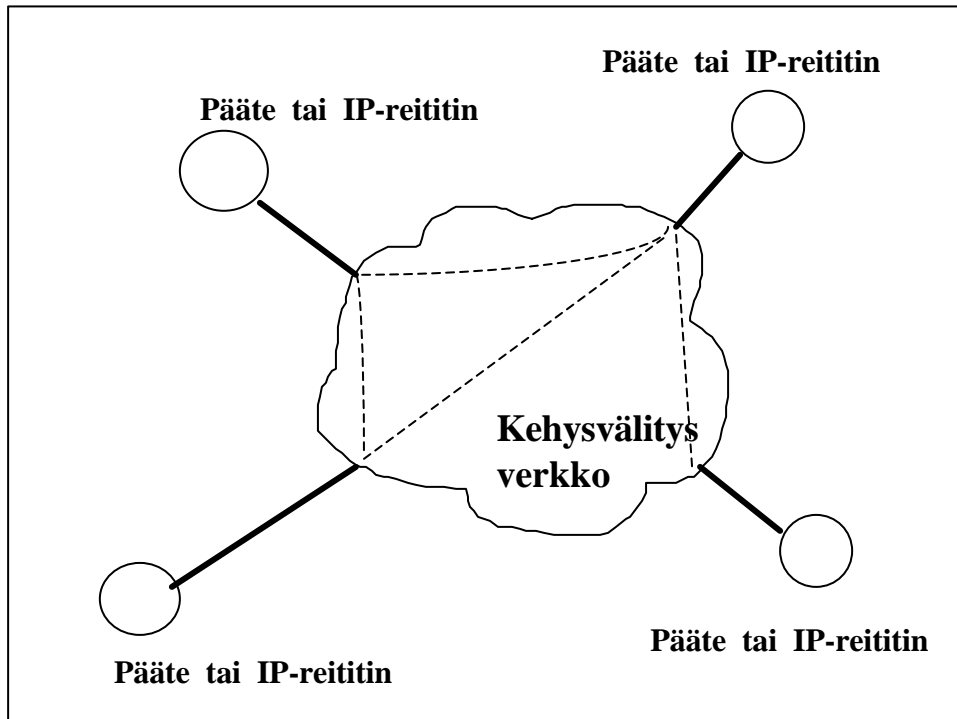
### • myös monipisteyhteys mahdollinen

- kehyksessä osoite, joka kertoo mihin yhteyteen lähetetään

24.1.2001

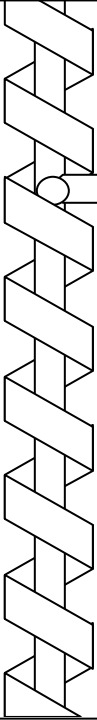
75





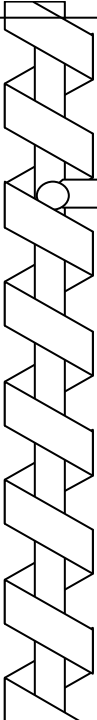
- voi lähettää kehyksiä (paketteja)
  - max 1600 tavua
- minimaalinen' yhteydellinen palvelu
  - tunnistaa kehyksen alun ja lopun
  - havaitsee siirtovirheet
  - virheellinen kehykset tuhoetaan
  - ei kuittauksia eikä vuonvalvontaa
    - kehyksessä yksi bitti, jolla voi ilmoittaa ongelmista

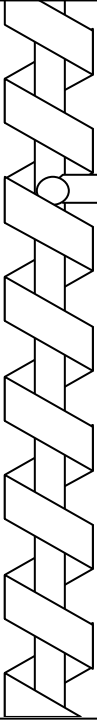
24.1.2001
77



## Sovittu datan lähetysnopeus

- Tästä käyttäjä maksaa
- paketeilla kaksi eri prioriteettiä
  - kehyksessä 1 bitti tätä varten
- taattu toimitus vain korkean prioriteetin paketeille
  - kun kytkimen puskuri liian täynnä, hävitetään alemman prioriteetin paketteja

- 
- Palvelun tarjoaja tarkkailee lähettämistä
    - tarkistaa tietyin välein, onko lähetetty liikaa
      - esim. 500 ms välein katsotaan, onko lähettäjä pysynyt sovitussa lähetysmäärässä (esim. 32 Kbps) ja lähettänyt vain 10 kpl 1600 bitin kehystä.
      - jos lähettää kehyksiä tiuhempaan kuin sovittu, ylimenevä osa kehyksistä merkitään alemman prioriteetin paketeiksi
      - toimitetaan perille vain, jos linjakapasiteettia riittää

- 
- Mitä pitempi tarkkailun aikaväli, sitä purskeisempi voi lähetys olla, mitä lyhyempi sitä tasaisempi
  - palvelun tarjoaja yleensä 'ylibuukkaa' käytettävissä olevan kapasiteetin
    - datansiirto purskeista, vähän samanaikaisia aktiivisia lähettäjiä



## **B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network)** (ss. 61-65, 144-147)

- yksi verkko korvaamaan puhelinverkon ja kaikki erilliset verkot
  - X.25, DQDB, frame relay, ..., kaapeli-TV
- sopii kaikille sovelluksille
- ISDN
  - liian hidas, piiriytkentäinen
- ATM (Asynchronous Transfer Mode)
  - siirtoteknologia, siirtopalvelu

24.1.2001

81



## ATM (Asynchronous Transfer Mode) (ss. 144-147)

- **pienet kiinteämittaiset solut ('cell relay')**
  - solukytkeäinen teknologia
  - 53 tavua: 5 tavua otsaketta, 48 käyttäjän dataa
- **joustava**
  - vakionopeutinen liikenne (audio, video)
  - puskainen liikenne
- **solun käsittely nopeaa => nopea**
- **yleislähetys mahdollinen**
  - tarpeen TV-lähetyksissä
  - pakettikytkentä osaa, piirikytkentä ei

24.1.2001

82



## ATM-verkko

- **yhteydellinen verkko**
  - yhteyspyyntö muodostaa kanavan
    - muut paketit kulkevat samaa reittiä
  - solujen järjestys taataan
  - mutta soluja voi kadota
- **yleensä WAN-verkkojen rakenne**
  - telelaitokset
- **myös LAN-verkkoja**

24.1.2001

83

## Verkon nopeudet

- 155 Mbps
  - teräväpiirtotelevisio
  - yhteensopivuus AT&T:n SONET siirtojärjestelmän kanssa
- 622 Mbps
  - neljä 155 kanavaa
- Gigabittejä tulevaisuudessa
- Tarvitaan huippunopeat kytkimet!
  - Kytkentäaika korkeintaan muutama sata ns!

24.1.2001

84

## ATM-viitemalli

- protokollapino
  - ATM sovituseros (~kuljetuseros)
  - ATM-kerros
  - peruseros
    - ATM riippumaton siirtomediasta:
      - usein SONET/SDH, T1/T3
- valvontataso ja käyttäjätaso (Control plane /user plane)
- verkonhallinta

24.1.2001

85



# ATM-protollat

- ATM-kerros

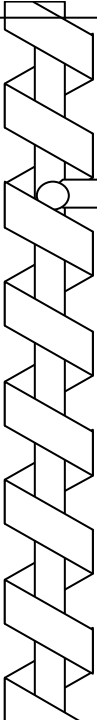
- solujen kuljetus
- solun rakenne
- virtuaalipiirien muodostus ja purku
- vuonvalvonta

- AAL (sovituseros)

- muodostaa paketeista soluja
- soluista paketteja

24.1.2001

86



- valvonta taso (control plane)

- yhteyksien valvonta

- käyttäjätaso (user plane)

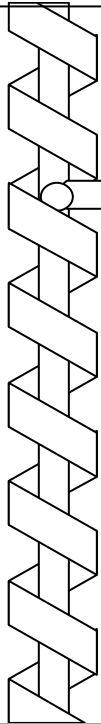
- datasiirto
- vuonvalvonta
- virheiden korjaus

- verkonhallinta

- resurssien hallinta
- kerrosten toiminnan koordinointi

24.1.2001

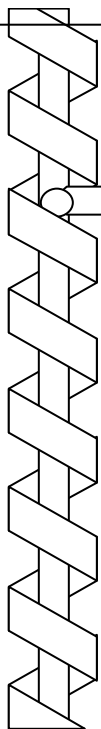
87



- telelaitosten suurisuuntainen projekti
  - koko puhelinverkon korvaaminen!
  - muiden televerkkojen korvaaminen
  - TV-verkkojen ‘kaappaaminen’
  
- käytössä lähinnä runkoverkkoina
  - TCP/IP kulkee atm-verkossa =>
    - “linkkikerroksen yhteys”

24.1.2001

88



## Peruskerros, linkkikerros

- Paljon erilaisia siirtovälineitä ja -tapoja
  - langallisia
    - erilaisia kuparijohtoja ja kaapeleita
    - lasikuitukaapeleita
  - langattomia
    - eri taajuuksista elektromagneettista säteilyä
  - yleislähetys / pisteestä-pisteeseen



## Peruskerros

### • Bittien generointi ja lähettäminen linjalle

- miten bitit esitetään ja koodataan
  - esim. voltteina ja ampeereina, taajuuksina ja vaiheina
  - Manchesterin koodaus
- ajoitukset
  - kauanko yhden bitin lähetys kestää?
- miten yhteys muodostetaan
- millaiset liittimet

24.1.2001

90



## Lainalaisuudet

- valonnopeus
- informaatioteorian teoreemat
  - maksimaalinen nopeus, jolla kanavalla voidaan siirtää dataa riippuu kanavan kaistan leveydestä
    - Nyquist: kohinattomalle kanavalle
    - Shannon: kohinaiselle kanavalle
  - teoreettiset raja-arvot
    - “täysin kohinaton kanava, jossa pystytään erottamaan ääretön määrä tasoja”



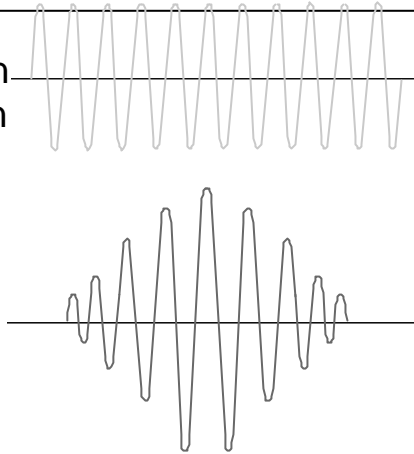
## Tiedon koodaus signaaliin

- bittien koodaukseen käytetään signaalin

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

- signalointinopeus

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**



24.1.2001

92

## Sinifunktio

- perusesimerkki jaksollisesta funktiosta

$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \theta)$$

A maksimiampplitudi

f taajuus

$\theta$  vaihe

24.1.2001

93

## Fourier-sarja

• jaksollinen funktio voidaan esittää Fourier-sarjana

$$g(t) = c/2 + \sum (A_n \sin(2\pi n f t) + B_n \cos(2\pi n f t))$$

summassa  $n$  saa arvot 1:stä äärettömään

$$f = 1/T$$

24.1.2001  $A_n, B_n =$  Fourier-kertoimet (harmonics) 94

## Fysikaalinen tulkinta

• mielivaltainen jaksollinen signaali

- generoidaan tarpeellinen määrä eritaajuisia siniaaltoja

- siniaaltoja on helppo generoida

- määrä voi olla myös ääretön

- käytännössä mukaan vain äärellinen määrä

- signaali vääristyy

• spektri

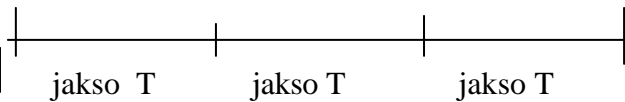
- signaalin siniaaltojen taajuuksien kokoelma

24.1.2001

95

## Esimerkki: 'b'-kirjain

- $b = 01100010$
- tästä saadaan jaksollinen funktio, kun ajatellaan  $b$ :n lähetyksen toistuvan
- $01100010\ 01100010\ 01100010$



$$T = 8; \quad f = 1/T = 1/8$$

24.1.2001

96

- $g(t) = 0, 0 \leq t < 1$   
1,  $1 \leq t < 2$   
1,  $2 \leq t < 3$   
0,  $3 \leq t < 4$   
.....  
1,  $6 \leq t < 7$   
0,  $7 \leq t < 8$

24.1.2001

97

- Kun integroidaan lausekkeet  $A_n$ ,  $B_n$  ja  $C_n$  käyttäen 'b':n jaksollista funktioita, saadaan 'b'-funktion Fourier-kertoimet.
- 'b'-signaalin tarkkaan esittämiseen tarvitaan ääretön määrä Fourier-sarjan kertoimia
  - signaali voidaan approksimoida äärellisellä määrällä termejä
    - äärellisellä määrällä sinifunktioita
  - mitä enemmän kertoimia sitä tarkempi approksimaatio



## Kaistanleveys (bandwidth)

- signaalin kaistanleveys
  - $f_2 - f_1$ , missä  $f_1$  on pienin ja  $f_2$  suurin signaalin siniaaltokomponentin taajuus
- kanavan kaistanleveys
  - väli  $[f_1, f_2]$ , jolla alueella olevia taajuuksia kanava pystyy välittämään



## Kaistanleveys ja tiedonsiirto

- mitä suurempi kaistanleveys, sitä suuremmat taajuudet mahdollisia, sitä useampi Fourier-termi kaistaan mahtuu ==> signaalin muoto säilyy paremmin
- signaalilla voi olla useita tasoja
  - kaksi tasoa: 0 ja 1
  - useampia tasoja : esim. 0, 1, 2 ja 3

24.1.2001

100



## Kanavan siirtokyky

- siirtonopeus ja siirrettävän tietoyksikön koko ('signaalin pituus bitteinä') ==> tietoyksikön siirtoaika eli sen jaksonpituus  $T$
- 1. Kertoimen taajuus =  $1/T$
- rajallisessa kanavassa voi lähettää vain rajallisen määrän harmonic-termejä
- termien määrä ==> signaalin laatu

24.1.2001

101



## Esimerkki

- kanavan nopeus 9600 bps
- tietoyksikön koko 8 bittiä ('b')
- tietoyksikön siirtoaika  
 $T = 8/9600 = 0.833 \text{ ms}$
- 1. termi =  $1/T = 9600/8 = 1200 \text{ Hz}$

24.1.2001

102



## Esimerkki jatkuu

- Jos kanavan kapasiteetti on 3000 Hz (~puhelinlinjalla )
- => kanavaan mahtuu  $3000/1200$   
eli 2 termiä
- lähetyksen laatu on huono

24.1.2001

103

## Esimerkki jatkuu yhä

- tiedonsiirtonopeus 38400 bps  
ja kanavan kaista 3000 Hz  
=> 1. termi = 4800 Hz
- => binääritietoa ei voida lähettää, sillä  
kaistaan ei mahdu yhtään tämän  
taajuisen signaalin termiä!

24.1.2001

104

## Nyqvistin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus  
häiriöttömällä kanavalla

$$C = 2 H \log_2 V \text{ bps}$$

C = tiedonsiirtonopeus (bps)

H = kaistanleveys

V = tasojen lukumäärä

24.1.2001

105

## Näytteiden otto

- Nyquist =>
- Jos kanavan kaistanleveys on  $H$ , niin kaikki kanavan informaatio saadaan ottamalla kanavasta  $2H$  näytettä sekunnissa
  - tiuhempi näytteiden otto ei enää tuota lisää informaatiota

24.1.2001

106

## Esimerkki

- **Modeemi yleisessä puhelinverkossa käyttää 8 tasoa. Verkon kaistanleveys on 3100 Hz. Mikä on tiedonsiirtonopeus?**
- **Nyqvistin kaava:  $C = 2H \log_2(V)$  bps**
- **$C = 2 * 3100 * \log_2(8)$  bps  
=  $6200 * 3$  bps  
= 18600 bps**

24.1.2001

107



## Kohina

Kohinaksi kutsutaan johtimessa aina taustalla esiintyvää sähkömagneettista aaltoliikettä  
– vahvistamaton signaali vaimenee kohinaksi

### • signaali-kohina -suhde SNR

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} ( S/N ) \text{ dB}$$

S = signaalin teho

N = kohinan teho

- ilmoitetaan desibeleinä

24.1.2001 • suuri SNR => hyvä signaalin laatu

108

## Shannonin kaava

### • maksimaalinen tiedonsiirtonopeus kohinaisessa kanavassa

$$C = H \log_2 ( 1 + S/N ) \text{ bps}$$

H kaistan leveys

S signaalin teho wateissa

N kohinan teho wateissa

24.1.2001

109

## Esimerkki

- Yleisessä puhelinverkossa  $H = 3000$  Hz ja  $SNR = 20$  dB. Mikä on (teoreettinen) maksiminopeus  $C$ ?

$$SNR = 20 = 10 \log_{10} (S/N)$$

$$2 = \log_{10} (S/N) \text{ eli } S/N = 10^{**2} = 100$$

$$\begin{aligned} C &= H \log_2 (1+S/N) = 3000 \log_2 (1+100) \\ &= 3000 \log_{10}(101) / \log_{10}(2) \\ &= 19974 \text{ bps} \end{aligned}$$

24.1.2001

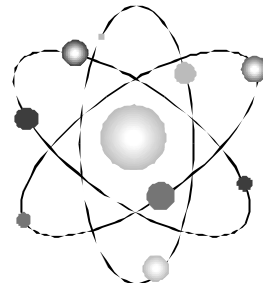
110

## Esimerkki jatkuu

- Tyypillisesti  $SNR = 30$  DB  
=>

- 3000 Hz:n kanavalla teoreettinen maksimi aina  $< 30000$

- käytettiin koodauksessa kuinka monta tasoa tahansa



24.1.2001

111