

2. Peruskerros

- tiedonsiirron perusteet
- siirtotie (media)
 - johtimet, kaapelit
 - langaton siirto
 - häiriöt ja vahvistaminen
- siirtoverkkoja
 - puhelinverkko: modeemi, isdn,
 - langaton verkko: soluradio
 - satelliittiverkko

-
-
-

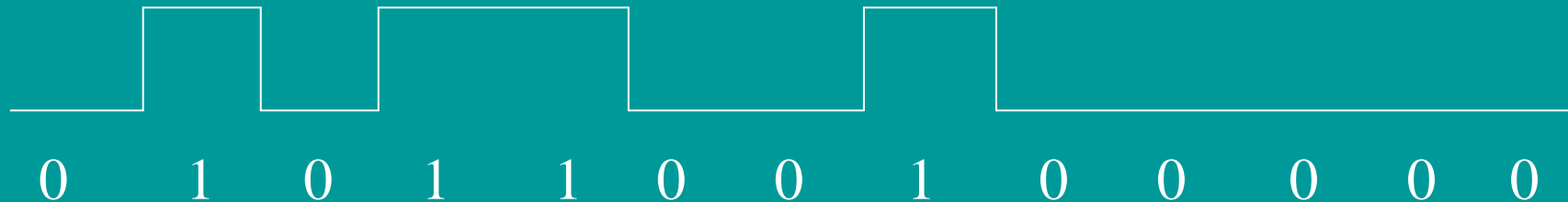
2.1 Tiedonsiirto

- ☞ **Data siirretään energiana**
 - ☞ **Koodataan data energiaksi, siirretään energiaa ja koodataan takaisin dataksi**
 - ☞ Energia voi olla sähköä, valoa, radioaaltoja, ääntä
 - ☞ Kullakin energialajilla on omat ominaisuudet ja siirtotavat

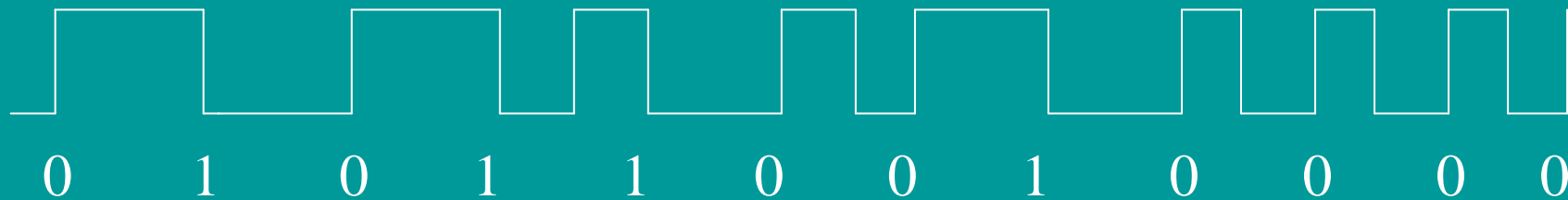
-
-
-

Koodaus

Yksinkertaisin tapa:



Parempia tapoja: esim. Manchester-koodaus
aina muutos bitin puolivälissä, 0: ensin alhaalla, sitten ylös;
1: ensin ylhäällä sitten alas



•
•
•

Lähetin, vastaanotin

- **Lähetin muuttaa datan (bitit) sähkömagneettiseksi aalloiksi tai valopulssiksi**
- **Nämä etenevät siirtomediassa**
- **vastaanotin muuttaa energian takaisin dataksi (biteiksi)**
- **Eri energiatyypeillä erilaista teknologiaa**

Signaali

- **signaali = aaltoliikettä, jonka**
 - jännite vaihtelee
 - virta vaihtelee
- **analoginen signaali**
 - jatkuva sähkömagneettinen aalto
- **digitaalinen signaali**
 - sarja volttipulsseja
 - “kanttiaalto”



Kaistanleveys (bandwidth)

- **siirtotien kaistanleveys**
 - väli [f_1 , f_2], jolla alueella olevia taajuuksia (Hz) siirtotie pystyy välittämään
- **kaistanleveys määrää siirtotien maksimaalisen siironopeuden**
 - “Bandwidth is simply how much stuff - voice, text, video- you can send through a connection, in a given amount of time. Cell phones are low bandwidth. Cable television is high bandwidth.”

Esimerkki 1

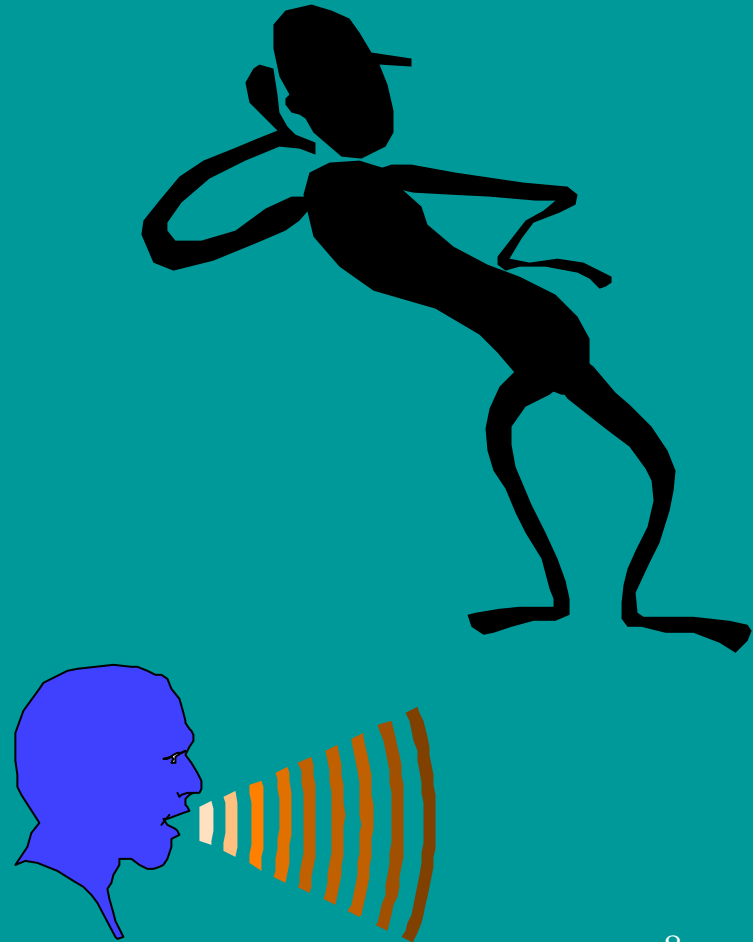


- **Pianolla saadaan ääniaaltoja välillä**
 - 30 Hz (matalat)
 - 4200 (korkeat)
- **Kaistanleveys on**
 - [30, 4200] tai
 - 4170 Hz

•
•
•

Esimerkki 2

- **Ihmisen korva erottaa taajuuudet**
40 Hz -18000 Hz
- **mutta puhelimen kaistanleveys on**
[200, 3500]
- **äänienergiasta välittyy puhelimesta 98%**



- **Mikä tahansa signaali voidaan esittää eri taajuuksisten siniaaltojen yhdistelmänä**
 - mitä enemmän kaistanleveyttä (taajuuksia) on käytettävissä, sitä ‘oikeampia’ signaaleja saadaan
- **Kaistanleveyden merkitys on teoreettisemmin selitetty Tanenbaumin luvussa 2.1.**
 - **Fourier-analyysi, Shannon, Nyqvist**
- **Näitä asioita käsitellään**
 - **jonkin verran tarkemmin Tietoliikenne II -kurssilla**
 - **hyvin paljon tarkemmin Digitaalinen signaalinkäsittely -kurssilla**

Siirtonopeus, siirtoaika

- **Siirtonopeus (data rate, transmission rate)**
 - miten nopeasti dataa pystytään lähettämään (siirtämään) linjalla
 - bps = bittejä sekunnissa
- **Siirtoaika**
 - kauanko datamäärän siirtäminen kestää
 - 10 Mb dataa ja siirtonopeus on 1 Mbs => siirtoviive = 10 sekuntia

•
•
•

Etenemisviive (propagation delay)

- **Miten nopeasti bitit (signaalit) etenevät siirtomediassa**
 - mediasta riippuen noin $2/3$ valonnopeudesta , joka on ~ 300.000 km/s
 - Tyhjiössä valonnopeus on $299.795.458$ m/s.
- **riippuu siirtomediasta ja etäisyydestä**
 - merkitystä etenkin satelliittilinkeillä, myös mannerten välisissä yhteyksissä
 - **Valonnopeus on kattonopeus kaikelle viestiliikenteelle**

-
-
-

2.2. Siirtomedia

- **peruskerroksen tehtävä**
 - siirtää bittivirtaa koneelta toiselle
- **käytettävissä erilaisia siirtovälineitä**
 - johdollinen
 - kuparijohto, optinen kuitu, kaapeli
 - johdoton
 - radio, satelliitti, matkapuhelin
 - magneettinauha, cd-levy

Magneettinen ja optinen media

- **‘talleta, kannaa ja lataa’**
- **suuri siirtonopeus**
 - hyvin suuria tietomääriä siirtyy kohtalaisella nopeudella
 - rekallinen cd-levyjä
- **pitkä viive**
 - ensimmäisen bitin saapuminen kestää pitkään
- **edullinen**



-
-
-

Kierretty pari (twisted pair)

- **kaksi eristettyä kuparijohtoa kierretty yhteen (vähentää häiriöitä)**
 - yleensä useita kaapelissa
- **yleisesti käytetty**
 - puhelinverkko, paikallisilmukka, rakennusten sisällä
- **hintaan nähden hyvä suorituskyky**
 - useita kilometrejä ilman vahvistinta
 - useita Mbps parin kilometrin matkalla
 - analoginen tai digitaalinen siirto

-
-
-

- **Suojattu /suojaamaton**

- UTP yleisesti käytetty LAN:eissa

- **eri luokkia (category)**

- luokka 3: puhelinyhteydet, LAN => 16 Mbps

- kotiyhteydet verkkoon: ISDN, ADSL

- luokka 5: uusiin toimistoihin => 100 Mbps

- enemmän kierteitä ja teflon-eriste

-
-
-

Koaksiaalikaapeli

- **paremmin suojattu häiriöiltä**
 - suuret nopeudet
 - 1-2 Gbps, 1-2 km -kaapelilla
 - pitkät etäisyydet
 - tarvitaan vahvistimia ja nopeus laskee
 - kaistanleveys
 - 300 (450) MHz
 - käyttö
 - TV-kaapelit, lähiverkot

-
-
-

Koaksiaalikaapelin signaalit

- **suurta kaistanleveyttä voidaan käyttää**
 - **kantataajuusmoodissa** (Baseband)
 - yksi signaali
 - nopea tiedonsiirto ~10 Mbps
 - digitaalinen signalointi
 - **laajakaistamoodissa** (Broadband)
 - kaista jaetaan kanaviin, 6 MHz
 - useita signaaleja samaan aikaan
 - analoginen signallointi

-
-
-

Kantataajuuskaapeli

- **digitaalitekniikka**
 - volttipulsseja
- **yksinkertainen, halpa**
- **halvat liittymät**
- **sekä kaksipisteyhteyksissä että monipisteyhteyksissä**

-
-
-

Laajakaistakaapeli

- **analoginen siirtotekniikka**
 - jopa 500 km kaapeleita
 - pitkillä etäisyyksillä vahvistimia
 - ei sovi niin hyvin digitaaliseen tiedonsiirtoon
- **TV-kaapelit**
 - lähes joka kotiin jo valmiina
- **käyttö**
 - rinnan TV-kuvaa, CD-tason ääntä ja digitaalista bittivirtaa

Laajakaistaverkko

- Laajakaistaverkoiksi nimitetään verkkoja, joiden tiedonsiirtokapasiteetti on yli 2 M bittiä sekunnissa.
- Tekniikka voi olla erilainen
 - WLAN
 - Gigabit Ethernet
 - ATM-tekniikalla toteutettu B-ISDN
 - valokaapelia
 - TV-kaapelia
 - xDSL

-
-
-

Valokaapeli

- **erittäin puhdasta kvartsia**
 - 1 km kuitua vaimentaa valoa vähemmän kuin 3 mm ikkunalasi
- **lasersäteitä**
- **ei sähkömagneettisia häiriöitä**
- **useita Gbps 30 km kaapelilla**
- **suuri kaistanleveys**
 - useita GHz

-
-
-

Valokaapelin rakenne

- **lähetin**

- muuttaa sähköpulssit valoksi
 - LED, laserdiodi

- **vastaanotto fotofiodi**

- muuttaa valopulssit sähköpulsseiksi
- vasteaika $\sim 1 \text{ ns} \Rightarrow \sim 1 \text{ Gbps}$
- kohina haittaa \Rightarrow riittävän voimakas säde

- **valokuitu**

- ensiosuoja suojaa mekaanisilta vaurioilta

22.9.2000 • toisosuoja yhdistää useita kuituja

-
-
-

Valokuitutyypit

- **monimuoto** (multimode)
 - valo hajaantuu (dispersion)
 - halpa, ei kovin nopea
 - paikallisverkoissa
- **yksimuotokuitu** (monomode)
 - kuidun paksuus vain muutama valon aallonpituus (8-10 mikronia, hius ~50 mikronia) => valo etenee kuidussa suoraan
 - kallein, nopein (~30 Gbps)
 - pitkän matkan puhelinlinjoissa (~30 km, jopa 100 km mahdollista)

-
-
-

Langaton tiedonsiirto

- **sähkömagneettinen aaltoliike**

- käytössä laaja spektri

- aaltoliikkeeseen koodattavissa tietoa

- amplitudi, taajuus vaihe

- rajoituksia

- generoitavuus

- moduloitavuus

- kuuluvuus/näkyvyys

- tunkeutuvuus

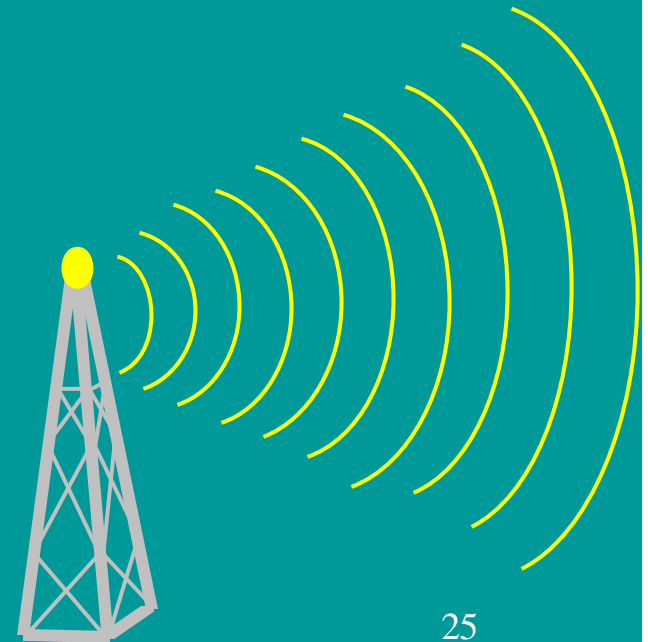
- vaarallisuus



-
-
-

Radioaallot

- helppo generoida
- etenevät pitkiä matkoja
- tunkeutuvat kaikkialle
- etenevät kaikkiin suuntiin
- rajallinen resurssi
 - niukkuutta
 - käyttö säänneltyä



-
-
-

Mikroaallot (> 100 MHz -> 10 GHz)

- **etenee suoraan**
 - hyvä signaali-kohina -suhde (SNR)
 - antenni suunnattava
- **tunkeutuvuus pienempi**
 - heijastuksia (kiinteät esteet, sääilmiöt)
 - vesisade
- **pulaa ilmatilasta => luvanvaraista**
 - NMT: 450 MHz, GSM: 900 MHz, 1800 MHz
- **verkkojen perustaminen 'halpaa'**

-
-
-

Infrapuna & millimetriaallot

- **etenee suoraan**
- **tunkeutuvaisuus ‘olematon’**
- **heijastuksia**
- **halpa**
- **käytetään**
 - kauko-ohjaimet
 - langattomat lähiverkot (wireless LAN)

Häiriöt siirtotiellä

- **Lähetetty signaali (aalto tai pulssi) vaimenee ja vääristyy kulkiessaan siirtomediassa**
 - **vaimeneminen (attenuation)**
 - eri taajuudet heikkenevät eri tavoin; suuret taajuudet vaimenevat enemmän
 - => **signaali paitsi vaimenee, myös vääristyy**
 - **viivevääristyminen (delay distortion)**
 - signaalin eri taajuuksiset komponentit etenevät hieman eri nopeuksilla ja saapuvat vastaanottajalle eri aikaan

-
-
-

Kohina (Noise)

- **Signaalia häiritsee kohina**
 - aina taustalla esiintyvää sähkömagneettista aaltoliikettä
 - **terminen kohina**
 - elektronien liikkeestä johtuva,
 - **ylikuuluminen**
 - johdin sieppaa viereisen johtimen signaalin
 - **impulssikohina**
 - salamot, vanhat puhelinkeskukset

-
-
-

- **kahdenlaisia tiedonsiirtokanavia**
- **digitaalinen**
 - bittiputki, energiapulssi
- **analoginen**
 - jatkuvaa aaltomuotoista signaalia
 - digitaalinen kanava toteutetaan usein analogisen avulla

-
-
-

Signaalin vahvistaminen

- **vahvistimet ja toistimet**
 - eri komponentteja vahvistettava eri tavoin
 - puhelininsinöörien tehtäviä
- **analoginen signaali**
 - vääristyy joka kerralla yhä enemmän ja enemmän
- **digitaalinen signaali**
 - vahvistus uudistaa signaalin

Pääsy Internetiin

- **Modeemilla puhelinverkon yli**
 - modeemi muuttaa tietokoneen digitaalisen datan analogiseen muotoon
 - lähinnä tiedonsiirto tilaajasilmukan yli
 - tiedonsiirtonopeus < 56 Kbps
- **ISDN-teknologia käyttäen**
- **ADSL (asymmetric digital subscriber line)**
 - kehittynyt modeemitekhnologia => 8 Mbps
- **Kaapeli-TV**
 - kaapelimodeemi, yleislähetys

•
•
•

Pääsy Internetiin

- **lähiverkko (LAN)**
 - Ethernet
 - Token Ring
 - langaton lähiverkko
- **matkapuhelin**
 - GSM, WAP
 - GRPS, UMTS
- **muut langattomat:** esim. VSAT

2.3. Puhelinjärjestelmä

- Olemassa oleva infrastruktuuri
'tiedon' kuljetukseen
- ongelma
 - äänenkuljetusteknologian sopivuus tietokoneiden väliseen kommunikointiin
 - datalinja 10^{**7} bps, BER $\sim 10^{**12}$
 - puhelin 10^{**4} bps, BER $\sim 10^{**5}$
 - vrt. 1km/t \leftrightarrow 1000 km/t
MTBF 2.8 min \leftrightarrow 53 vuotta

-
-
-

Tilaajasilmukka (Local loop)

- **Viimeinen pätkä puhelinverkkoa keskuksesta puhelinlaitteeseen**
 - on olemassa
 - volyyymi valtava
 - 1000 kertaa kuuhun ja takaisin
- **säilyy kauan**
- **analoginen**
 - tietokoneen digitaalinen data muutettava analogiseksi

Ristiriita

- eri taajuudet vaimenevat eri tavoin
- eri taajuudet etenevät eri nopeudella

==> kapea kaista

- vähemmän virheitä analogisissa signaaleissa

- digitaalinen 'kantti'-signaali

==> leveä kaista

- digitaalisen signaalin muoto säilyy

-
-
-

Digitaalisen signaloinnin edut

- **vaimenee ja vääristyy, mutta ylläpidettävissä**
 - vähemmän virheitä
- **eri tietomuodot limitettävissä**
 - ääni, kuva data
- **suuret siirtonopeudet**
- **tekniikka yksinkertainen**

-
-
-

Digitaalisesta analogiseen

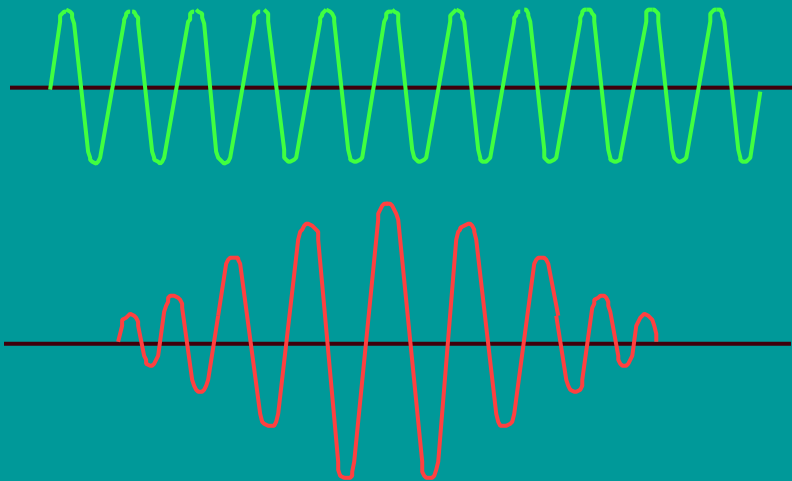
- **tiedonsiirto puhelinyhteydellä**
 - tilaajasilmukassa
- **jatkuva kantaalto** (carrier)
 - 1000-2000 Hz
- **moduloidaan kantaallon**
 - amplitudia
 - taajuutta
 - vaihetta

(kts. Tanenbaum kuva 2.18)

Modeemi

- muunnokset digitaalisen ja analogisen signaalin välillä
- kehittynyt modeemi moduloi sekä amplitudia että vaihetta
- ‘constellation pattern’ ilmoittaa käytetyt vaiheet ja amplitudit

Aaltoliike



- **amplitudi**
 - signaalin arvo tietyllä hetkellä
 - esim. voltteja sähköjohdossa
- **taajuus**
 - jakson käänteisluku $1/T$
 - toistojen lukumäärä sekunnissa herz (Hz)

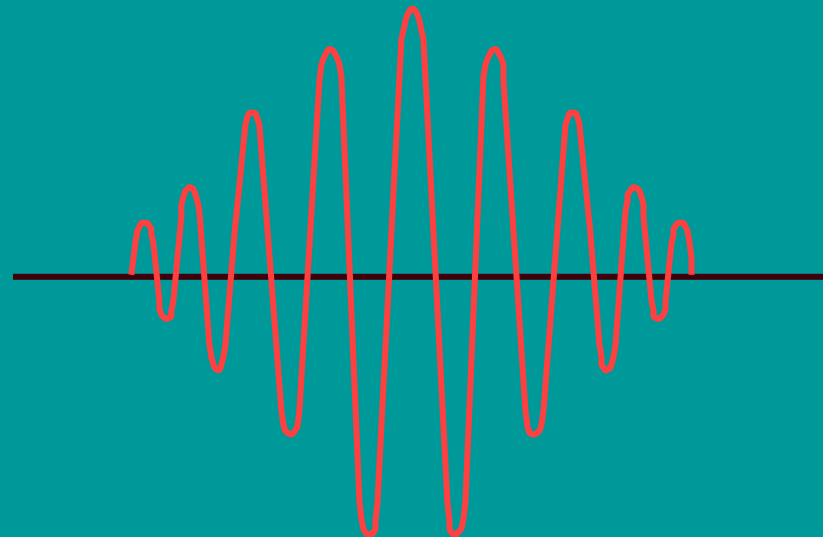
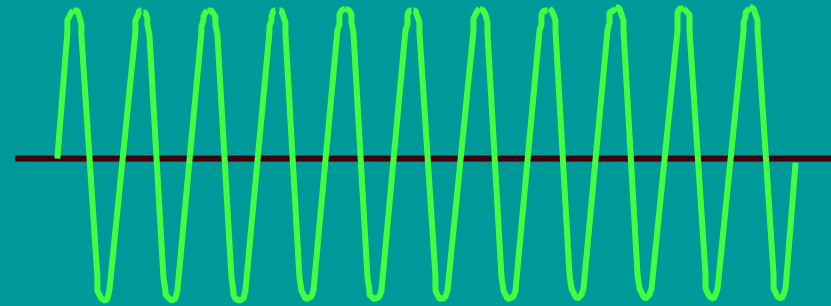
Tiedon koodaus signaaliin

- **bittien koodaukseen käytetään signaalin**

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

- **signalointinopeus**

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**



-
-
-

Tiedon koodaus signaaliin (2)

- **perusmalli**
 - kukin signaali vastaa yhtä bittiä
- **tiedonsiirron tehostus**
 - yksi signaali kuljettaa useita bittejä
 - esim. useita amplituditasoja, joista kukin vastaa bittiyhdistelmää
- **tiedonsiirron varmennus**
 - monta signaalia kuljettaa samaa bittiä

-
-
-

Modeemeja

- **QAM (Quadrature Amplitude Modulation)**
 - 9600 bps 2400 baudin linjalla, 16 eri 'tasoa'
- **V.32bis**
 - 14 400 bps 2400 baudin linjalla, 64 tasoa => 6 bittiä
 - faksi
- **V.34**
 - 28 800 bps
- **pienikin linjahäiriö tuhoaa monta bittiä!**

-
-
-

Paikallissilmukka valokaapelia!

- **tulevaisuudessa nykyinen puhelinliitännä (~3 k Hz) ei riitä**
 - Video on Demand
- **ratkaisuja:**
 - valokaapeli joka kotiin
 - TV-kaapeli; tulee jo joka kotiin
 - xDSL
 - laajakaista langatonyhteys

-
-
-

xDSL-modeemit

- **digitaalinen paikallissilmukka**
(Digital Subscriber Loop)
 - kierretyn parin kaistanleveys $\gg 4000\text{Hz}$
 - rajoitus puhelintekniikasta
- **useita hieman erilaisia ratkaisuja**
 - ADSL
 - HDSL
 - VDSL

-
-
-

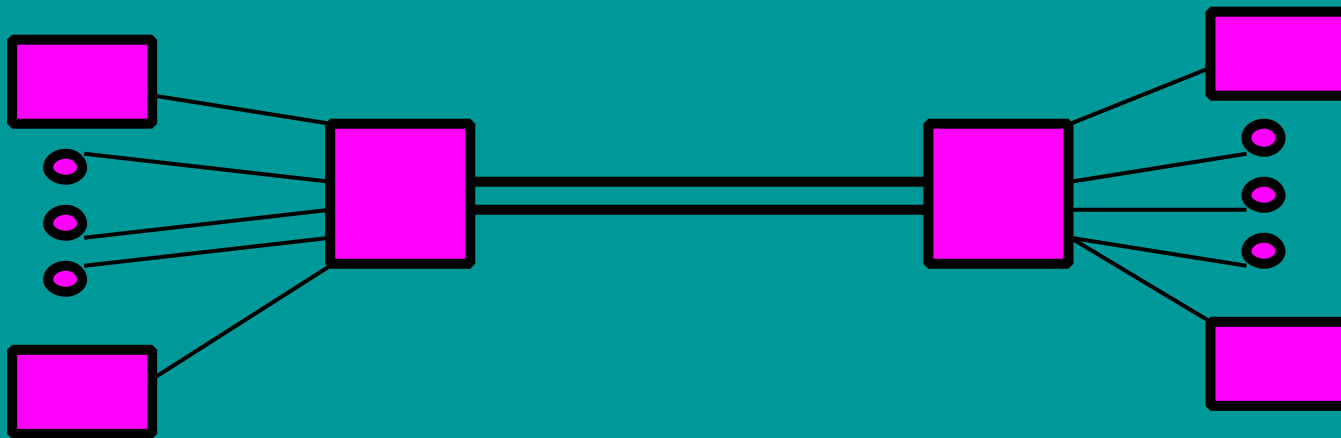
ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop)

- **kaksi eri nopeutta**
 - hidas tilaajalta palvelulle (esim. tilausvideo)
 - nopea palvelulta tilaajalle
- **samanaikainen puhelin- tai ISDN-yhteys**
- **“monimutkainen kehittynyt modeemi”**

-
-
-

Kanavointi (multiplexing)

- **Kanavointi (tai limitys)**
 - runkolinja yhteiskäytössä



-
-
-

Kanavoitintekniikat

- **FDM (Frequency Division Multiplexing)**

- taajuusjakokanavointi

- linja jaettu useaan eri kanavaan
- kukin lähettää omalla kanavallaan

- **TDM (Time Division Multiplexing)**

- aikajakokanavointi

- koko kanava vuorotellen eri lähettäjän käytössä
- lyhyet ajat => tasainen lähetys kaikilla

-
-
-

Taajuusjakokanavointi

- **puhelinliikenteessä**
 - kullekin kanavalle varattu 4000 Hz
 - 3000 Hz puhelua varten + varoalue
 - eri kanavien taajuusalueet muutetaan erilaisiksi
 - kanavat yhdistetään yhdelle linjalle
 - varoalueesta huolimatta hiukan sotkevat toisiaan

-
-
-

Aikajakokanavointi TDM

- **digitaalikanavan yhteiskäyttö**
 - FDM: vain analogisille linjoille
- **TDM vain digitaaliselle datalle**
 - puhelinverkossa
 - 'local loop' analoginen
 - runkolinjat digitaalisia
 - tarvitaan muunnos analogisesta digitaaliseen
 - codec: 8000 näytettä/s, 7-8 bittiä/ näyte

-
-
-

PCM (Pulse Code Modulation)

- **tekniikka, jolla analoginen signaali digitalisoidaan**
 - nykyaikaisen puhelinjärjestelmän ‘peruspalikka’
 - useita erilaisia versioita käytössä
 - USA, Japani: T1 carrier -tekniikka
 - ITU-T (CCITT)
 - otetaan anal. signaalista näytteitä, joiden arvo esitetään kiinteällä määrällä (yleensä 8) bittejä.

-
-
-

Runkolinjoja

- **T1 Carrier**

- 24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen

- 193 bittiä/125 μ s => 1.544 Mbps

- **E1**

- 32 kanavaa

- 32 näytettä a' 8 bittiä => 2.048 Mbps

- **runkolinjoja voidaan yhdistää edelleen**

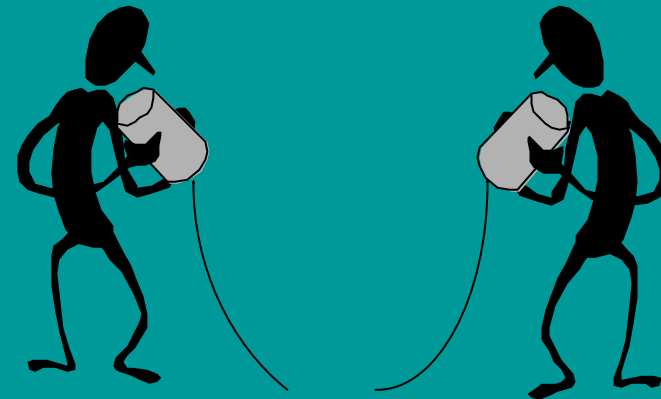
- esim. yhdistetään jatkossa aina neljä joka kerralla

- 32, 128, 512, 2048, 8192 kanavaa => 2.048 - 565.148 Mbps

-
-
-

SONET/SDH

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



2.4 ISDN

- yhdistää ääni- ja datapalvelut
 - ääni, kuva, data erikseen tai yhdessä
- päästä-päähän digitaalinen
 - digitaalinen ‘bittiputki’
- evolutionäärinen kehitys
 - N-ISDN (Narrowband ISDN)
 - 64 kbps
- hyvin suurisuuntainen hanke

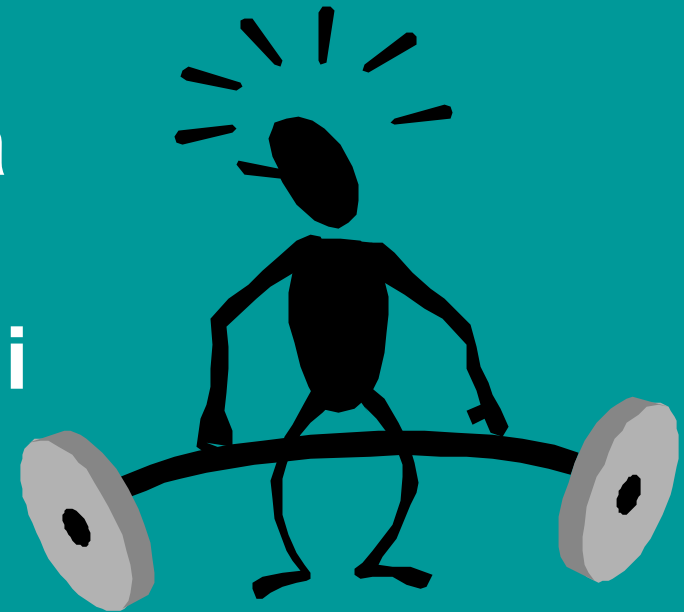
22.9.2000

54

-
-
-

ISDN-tulevaisuus?

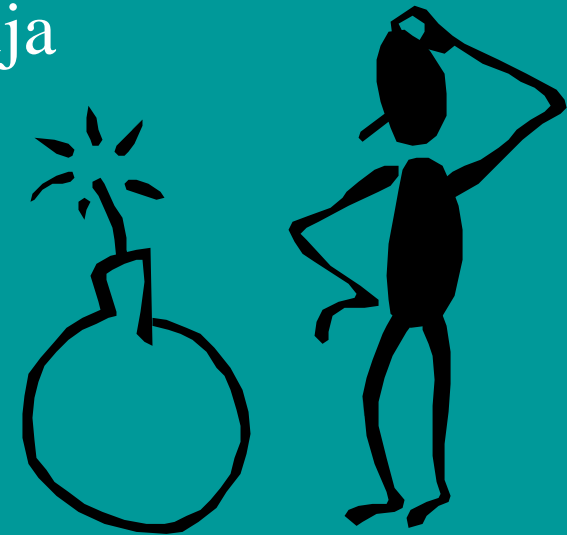
- **massiivinen yritys**
- **runsaasti standardointia**
 - kestänyt yli 10 vuotta
- **tekninen kehitys ajoi ohi**
 - 64 kbps \Leftrightarrow 10 Mbps
- **Internet-käyttö**
 - 2B+D \Rightarrow 144 kbps \sim 28.8 kbps



-
-
-

B-ISDN (Broadband ISDN)

- **nopeus 155 Mbps**
- **ATM-teknologia**
 - pakettikytkentä, virtuaalipiiri
 - kiinteän kokoisia paketteja eli soluja
- **mullistus aikaisempaan**
 - piirikytkentä
 - kytkintekniikka
 - tilaajasilmukka (local loop)



22.9.2000

-
-
-

2.6 Soluverkko

- hakulaite (pager)
- langaton puhelin
- analoginen matkapuhelin
- digitaalinen matkapuhelin
- ‘kommunikaattori’

-
-
-

Soluverkko

- **tukiasema**

- joka solussa
- välittää puhelut tai datakehukset
 - erilaisia tapoja kytkeä toisiinsa

- **esim. GSM:ssä**

- MSC (Mobile Switching Center)
- valvonta- ja toimintakeskus
 - yhdistää tukiasemat
 - voi olla useita tasoja
- handover:

22.9.2000

- puhelimen siirtyminen solusta toiseen

58

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

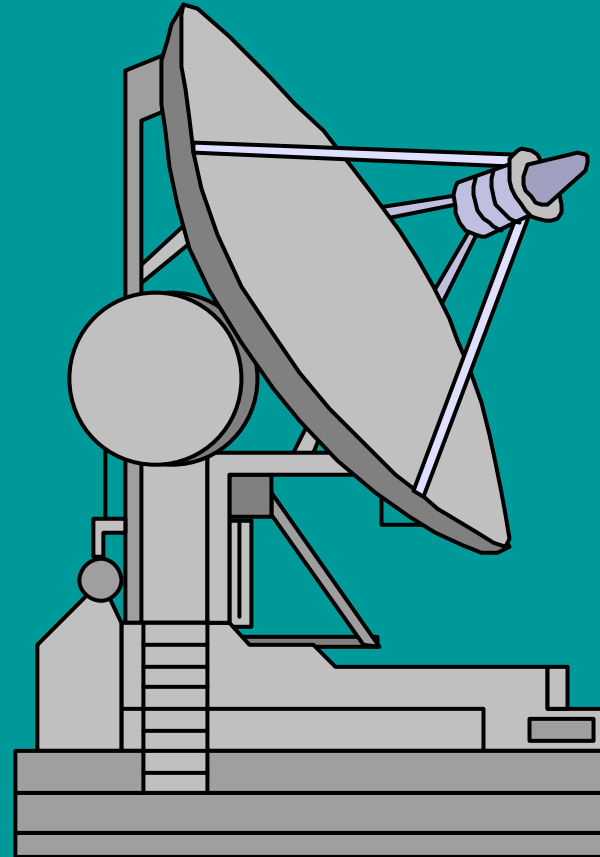
Digitaaliset solupuhelimet

- **GSM**
 - eurooppalainen standardi
 - 1.8 GHz
 - salaus käytössä
- **GPRS (General Packet Radio Service)**
- **USA**
 - IS-54
 - analoginen ja digitaalinen

-
-
-

2.7 Viestintäsatelliitit

- **geostationäärinen satelliitti**
 - massatiedonsiirtoon
 - ~ kuitu
- **low orbit -satelliitti**
 - ~ mobile phone



Geostationäärinen satelliitti

- ~ **36000 km korkeudessa**
 - päiväntasaajan yläpuolella
 - pysyy maahan nähden paikallaan
 - sama pyörimisnopeus
- **viive suuri ~ 270ms**
- **suuri lähetysskapasiteetti**
- **vähän virheitä**
- **nopeasti toimintavalmiita**

-
-
-

- **yleislähetys**

- helppo lähettää monelle
- helppo kuunnella muiden lähetyksiä
 - salakuuntelu helppoa

- **rajallinen määrä mahtuu päiväntasaajan yläpuolelle**

- korkeintaan 180 ‘paikkaa’
- jos eri taajuuksia, niin useampi

Satelliitti

- satelliitissa 12-20 vastaanotinlähetintä,
- kullakin 36-50 Mhz kaistaa
 - 50 Mbps dataa
 - 800 64 kbps äänikanavaa
- VSAT (Very Small Aperture Terminal)
 - 1 metrin antenni, 1 watti tehoa
 - ylös 19.2 kbps, alas 512 kbps
 - hub toimii välittäjänä => yhä suurempi viive 540 ms

-
-
-

low orbit -satelliitti

- 750 km korkeudessa
- kiertää maapalloa
 - kun yksi häipyä, toinen tulee
- satelliitti-ketju
 - kuusi ketjua riittää peittämään koko maapallon
 - 1628 solua maanpinnan päällä
 - maailmanlaajuinen telepalvelu
- => **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System)

-
-
-

Yhteenveto:

- **Datan koodaus signaaleihin**
 - digitaalinen/analoginen signaali
- **Datan siirtäminen**
 - siirtotiet (-mediat) ja niiden ominaisuudet
 - taajuus, kaistanleveys, siirtonopeus, etenemisviive
 - siirtotien häiriöt => vahvistaminen
- **Muunnokset analoginen \Leftrightarrow digitaalinen**
 - modeemi
 - codec, PCM

Yhteenveto jatkuu

- **Siirtotien yhteiskäyttö**
 - kanavointi: TDM, FDM
 - T1, E1, SONET/SDH
- **Eri teknologioita** (Internet-yhteyksiin)
 - olemassa olevien linjojen käytön tehostamista
 - ISDN, xDSL, kaapeliverkko
 - uusien ratkaisujen kehittäminen
 - valokaapeli