

## 2. Peruserkerros

### • tiedonsiirron perusteet

#### • siirtotie (media)

- johtimet, kaapelit
- langaton siirto
- häiriöt ja vahvistaminen

#### • siirtoverkkoja

- puhelinverkko: modeemi, isdn,
- langaton verkko: soluradio
- satelliittiverkko

22.9.2000

1

## 2.1 Tiedonsiirto

### • Data siirretään energiana

#### • Koodataan data energiaksi, siirretään energiaa ja koodataan takaisin dataksi

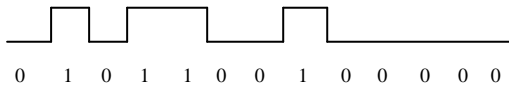
- Energia voi olla sähköä, valoa, radioaaltoja, ääntä
- Kullakin energialajilla on omat ominaisuudet ja siirtotavat

22.9.2000

2

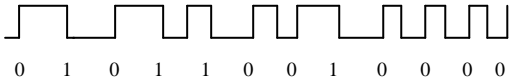
## Koodaus

### Yksinkertaisin tapa:



### Parempia tapoja: esim. Manchester-koodaus

aina muutos bitin puolivälissä, 0: ensin alhaalla, sitten ylös;  
1: ensin ylhäällä sitten alas



22.9.2000

3

## Lähetin, vastaanotin

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

22.9.2000

4

## Signaali

### • signaali = aaltoliikettä, jonka

- jännite vaihtelee
- virta vaihtelee

### • analoginen signaali

- jatkuva sähkömagneettinen aalto

### • digitaalinen signaali

- sarja volttipulseja
- "kanttiaalto"



22.9.2000

5

## Kaistanleveys (bandwidth)

### • siirtotien kaistanleveys

- väli [ f1, f2 ], jolla alueella olevia taajuuksia (Hz) siirtotie pystyy välittämään

### • kaistanleveys määrää siirtotien maksimaalisen siirtonopeuden

- "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."

22.9.2000

6

## Esimerkki 1



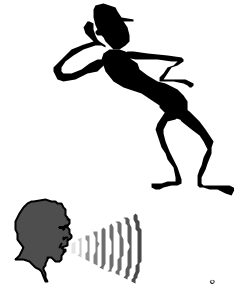
- **Pianolla saadaan ääniaaltoja välillä**
  - 30 Hz (matalat)
  - 4200 (korkeat)
- **Kaistanleveys on**
  - [ 30, 4200] tai
  - 4170 Hz

22.9.2000

7

## Esimerkki 2

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



22.9.2000

8

- **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

22.9.2000

10

## 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 satelliittiliinkeillä, myös mannerten välisissä yhteyksissä
  - **Valonnopeus on katto nopeus kaikelle viestiliikenteelle**

22.9.2000

## 2.2. Siirtomedia

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

22.9.2000

12

## Magneettinen ja optinen media

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



22.9.2000

13

## 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

22.9.2000

14

## 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

22.9.2000

15

## 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

22.9.2000

16

## 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 signalointi

22.9.2000

17

## Kantataajuuskaapeli

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

22.9.2000

18

## 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

22.9.2000

19

## 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

22.9.2000

20

## 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

22.9.2000

21

## Valokaapelin rakenne

- **lähetin**
  - muuttaa sähköpulsit valoksi
    - LED, laserdiodi
- **vastaanotto fotodiodi**
  - muuttaa valopulsit sähköpulsseiksi
  - vasteaika  $\sim 1 \text{ ns} \Rightarrow \sim 1 \text{ Gbps}$
  - kohina häiritsee  $\Rightarrow$  riittävän voimakas säde
- **valokuitu**
  - ensiosuoja suojaa mekaanisilta vaurioilta
  - toisosuoja yhdistää useita kuituja

22.9.2000

22

## Valokuitutyypit

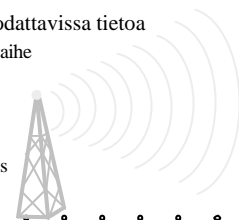
- **monimuoto (multimode)**
  - valo hajaantuu (dispersion)
  - halpa, ei kovin nopea
  - paikallisverkoissa
- **yksimuotokuitu (monomode)**
  - kuidun paksuus vain muutama valon aallonpituus (8-10 mikronia, hius  $\sim 50$  mikronia)  $\Rightarrow$  valo etenee kuidussa suoraan
  - kallein, nopein (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

22.9.2000

23

## Langaton tiedonsiirto

- **sähkömagneettinen aaltoliike**
  - käytössä laaja spektri
  - aaltoliikkeeseen koodattavissa tietoa
    - amplitudi, taajuus vaihe
  - rajoituksia
    - generoitavuus
    - moduloitavuus
    - kuuluvuus/näkyvyys
    - tunkeutuvuus
    - vaarallisuus

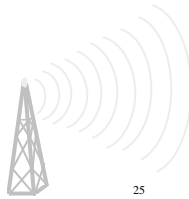


22.9.2000

24

## Radioaallot

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



22.9.2000

25

## Mikroaallot (> 100 MHz -> 10 GHz)

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

22.9.2000

26

## Infrapuna & millimetriaallot

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

22.9.2000

27

## 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
      - => signaali vääristyy

22.9.2000

28

## Kohina (Noise)

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

22.9.2000

29

## Kahdenlaisia tiedonsiirtokanavia

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

22.9.2000

30

## 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

22.9.2000

31

## 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 modeemitekniologia => 8 Mbps
- **Kaapeli-TV**
  - **kaapelimodeemi, yleislähetys**

22.9.2000

32

## Pääsy Internetiin

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

22.9.2000

33

## 2.3. Puhelinjärjestelmä

- **Olemassa oleva infrastruktuuri 'tiedon' kuljetukseen**
- **ongelma**
  - äänenkuljetustekniologian sopivuus tietokoneiden väliseen kommunikointiin
    - datalinja 10<sup>7</sup> bps, BER ~ 10<sup>-12</sup>
    - puhelin 10<sup>4</sup> bps, BER ~ 10<sup>-5</sup>
    - vrt. 1km/t <-> 1000 km/t
    - MTBF 2.8 min <-> 53 vuotta

22.9.2000

34

## Tilaajasilmukka (Local loop)

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

22.9.2000

35

## 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

22.9.2000

36

## Digitaalisen signaloinnin edut

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

22.9.2000

37

## Digitaalisesta analogiseen

- tiedonsiirto puhelinyhteydellä
  - tilaajasilmuksessa
- jatkuva kanta-aalto (carrier)
  - 1000-2000 Hz
- moduloidaan kanta-aallon
  - amplitudia
  - taajuutta
  - vaihetta

(kts. Tanenbaum kuva 2.18)

22.9.2000

38

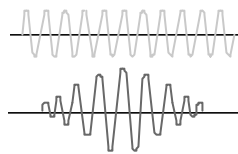
## Modeemi

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

22.9.2000

39

## Aaltoliike



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

22.9.2000

40

## Tiedon koodaus signaaliin

- **bittien koodaukseen käytetään signaalin**

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

- **signalointinopeus**

- signaalia/s
- yksikkönä **baudi**

22.9.2000

41

## 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

22.9.2000

42

## 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!**

22.9.2000

43

## 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

22.9.2000

44

## xDSL-modeemit

- **digitaalinen paikallissilmukka** (Digital Subscriber Loop)
  - kierretyn parin kaistanleveys >> 4000Hz
  - rajoitus puhelintekniikasta
- **useita hieman erilaisia ratkaisuja**
  - ADSL
  - HDSL
  - VDSL

22.9.2000

45

## ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop)

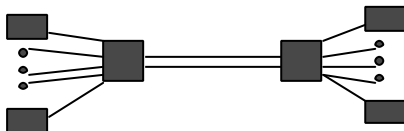
- **kaksi eri nopeutta**
  - hidas tilaajalta palvelulle (esim. tilausvideo)
  - nopea palvelulta tilaajalle
- **samanaikainen puhelin- tai ISDN-yhteys**
- **"monimutkainen kehittynyt modeemi"**

22.9.2000

46

## Kanavointi (multiplexing)

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



22.9.2000

47

## Kanavointitekniikat

- **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

22.9.2000

48



## 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

22.9.2000

49

## 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

22.9.2000

50

## 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.

22.9.2000

51

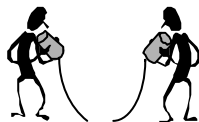
## Runkolinjoja

- **T1 Carrier**
  - 24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen
    - 193 bittiä/125  $\mu$ 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

22.9.2000

## SONET/SDH

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



22.9.2000

53

## 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 suuruuntainen hanke**

22.9.2000

54

## ISDN-tulevaisuus?

- **massiivinen yritys**
- **runsaasti standardointia**
  - kestänyt yli 10 vuotta
- **tekninen kehitys ajoi ohi**
  - 64 kbps <-> 10 Mbps
- **Internet-käyttö**
  - 2B+D => 144 kbps ~ 28.8 kbps



22.9.2000

55

## 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

56

## 2.6 Soluverkko

- hakulaite (pager)
- langaton puhelin
- analoginen matkapuhelin
- digitaalinen matkapuhelin
- 'kommunikaattori'

22.9.2000

57

## 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:
    - puhelimen siirtyminen solusta toiseen

22.9.2000

58

## Digitaaliset solupuhelimet

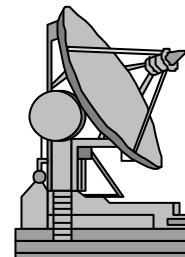
- **GSM**
  - eurooppalainen standardi
  - 1.8 GHz
  - salaus käytössä
- **GPRS (General Packet Radio Service)**
- **USA**
  - IS-54
    - analoginen ja digitaalinen
  - IS-95

22.9.2000

59

## 2.7 Viestintäsatelliitit

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



22.9.2000

60

## Geostationäärinen satelliitti

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

22.9.2000

61

## yleislähetys

- **yleislähetys**
  - helppo lähettää monelle
  - helppo kuunnella muiden lähetyksiä
    - salakuuntelu helppoa
- **rajallinen määrä mahtuu päiväntasaajan yläpuolelle**
  - korkeintaan 180 'paikkaa'
  - jos eri taajuuksia, niin useampi

22.9.2000

62

## Satelliitti

- satelliitissa 12-20 vastaanotinlähettäjä,
- 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

22.9.2000

63

## 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)

22.9.2000

64

## Yhteenveto:

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

22.9.2000

65

## 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
    - langattomat yhteydet: radioaallot, satelliitit

22.9.2000

66