



6. Erilaisia verkkoja

LAN, MAN ja WAN

SOVELLUKSI

SOVELLUSPROTOKOLIA:
HTTP, SMTP, SNMP, FTP, TELNET, ..

TCP (UDP)

IP

Erilaisia verkkoja: kuulosteluverkko ('Ethernet'),
vuororengas, *vuoroväylä*, atm, fddi, *dqdb*, X.25, puhelinverkko,
satelliittiverkko, **gsm**, valmistajien omat verkot, ...

Erilaisia linkkikerroksia

HDLC, PPP

MAC-protokollia

Erilaisia tapoja lähettää generoida ja siirtää bittejä

Paljon erilaisia verkkoja!

□ LAN

- **Ethernet**
- **Vuororengas (802.4, Token Ring)**
- **langaton lähiverkko WLAN (wireless LAN, 802.11)**
- **Atm (?)**

□ MAN

- **FDDI, DQDB**

□ WAN

- **puhelinverkko, X.25, kehysvälitys (frame relay)**
- **atm**

6.1 Lähiverkkostandardi IEEE 802:

LAN- ja MAN-verkoille

- 802.1 Johdanto, rajapintaprimitiivit
- 802.2 LLC (Logical Link Control)
- 802.3 CSMA/CD (kuulosteluväylä)
- 802.4 Token bus (vuoroväylä)
- 802.5 Token ring (vuororengas)
- 802.6 DQDB (Distributed Queue Dual Bus)
- **802.11 langaton LAN**

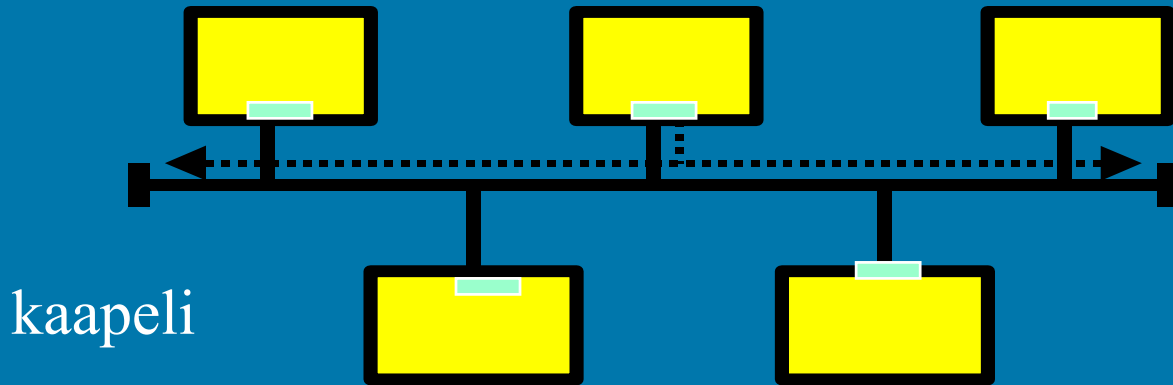
Ethernet-lähiverkko

□ Yleisin lähiverkkoteknologia

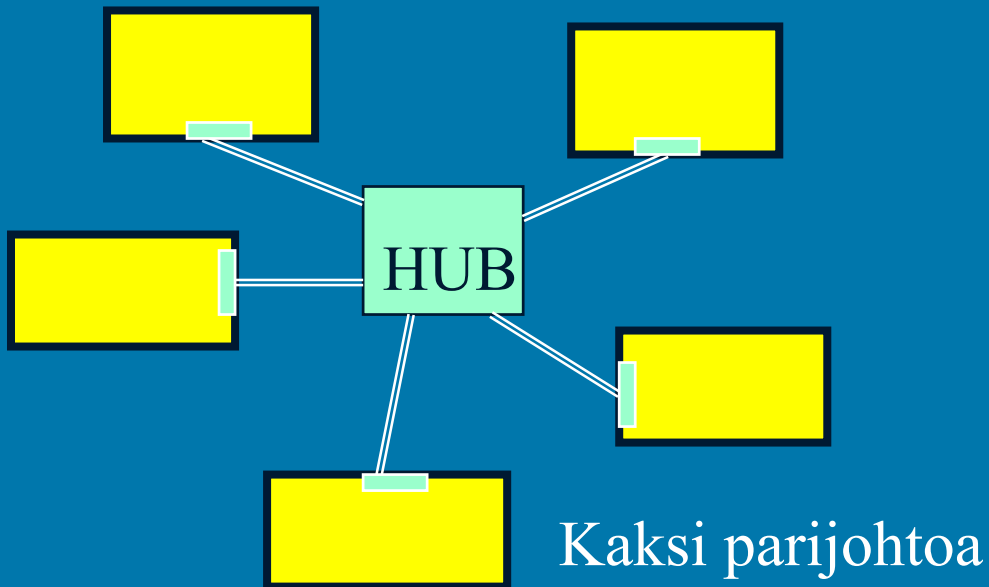
- CSMA/CD (kuulosteluväylä)
 - kuunnellaan, ja jos vapaa, lähetetään
 - jos syntyy törmäys, odotetaan satunnainen aika
 - binary exponential backoff
- ei kuittauksia, ei prioriteettejä
- paljon erilaisia kokoonpanoja
 - 10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T, 10BROAD36, 10BASE-F
 - 100BASE-T
 - 1000BASE-LX, 1000BASE-SX (kuitu)

Eetteriverkon rakenne

□ väylä



◆ Kytkin tai keskitin



Erittäin nopeat Ethernet-verkot

- ❑ Klassisen version nopeus 10 Mbps
- ❑ 100 Mbps (fast Ethernet)
- ❑ Gigabit Ethernet
- ❑ 10 Gigabit Ethernet
- ❑ 100 Gigabit Ethernet
- ❑ Terabit Ethernet

Vuororengas (802.5)

- rengas on ketju kaksipisteyhteyksiä
 - ei siis yleislähetystä
 - tekniikka hallussa
 - digitaalitekniikkaa (melkein kokonaan)
 - kierretty pari
 - koaksiaalikaapeli
 - valokuitu
 - IBM:n valinta
 - enää melko vähäisessä käytössä

Lähetys vuororenkaassa

- renkaassa kiertää vuoromerkki
 - erityinen bittikuvio
- vuoromerkin tulee mahtua renkaaseen
 - kunkin aseman aiheuttama viive (1 bitti)
 - öisin keinotekoinen viive
 - siirtoviive
- kuuntelumoodi
 - kopioi bittejä sisääntulosta ulosmenoon

□ lähetysmoodi

- vain jos on vuoromerkki
- omaa dataa siirretään ulosmenoon

□ lähetetyt bitit kiertävät koko renkaan ja lähettäjä poistaa ne

– voi tutkia, onko kehyksissä virheitä

□ lopetettuaan lähettäjä lähettää vuoromerkin renkaaseen



□ jos kevyt kuorma

- vuoromerkki kiertelee renkaassa
- joskus joku lähettää

□ jos raskas kuorma

- kaikilla asemilla jonoa
- kaikki lähettävät maksimimäärän ja siirtävät vuoromerkin seuraavalle

- **renkaan suoritusteho lähes 100%**

FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

□ vuororengas

- valokuitu
- 100 Mbps
- => 200 km
- 500 asemaa,
 - asemien väli < 2 km, kun monimuotokuitu + LED
 - yksimuotokuidulla ja laserille voi olla suurempi

□ käyttö LANeja yhdistävänä runkolinjana

synkronista ja asynkronista dataa

- ISDN
 - ääntä PCM-koodattuna
 - dataa
- ❑ BER < 1 virhe / $2.5 \cdot 10^{10}$ bittiä
 - ❑ maksimi kehys 4599 tavua

FDDI: rakenne

- kaksi valokuiturengasta
 - toisessa myötäpäivään
 - toisessa vastapäivään
- renkaan katkeaminen
 - tarvittaessa renkaat voidaan yhdistää yhdeksi
- asemat
 - A: kiinni molemmissa renkaissa
 - B: kiinni vain yhdessä renkaassa

FDDI: protokolla

- Vuororenkään johdannainen
 - renkaassa useita lähetyksiä
 - vuoromerkki heti renkaaseen, kun oma lähetys loppunut
 - kehys hyvin samanlainen kuin vuororenkässa

6.2. WLAN langaton lähiverkko (Wireless LAN)

- IEEE 802.11-standardi
 - IEEE 802.11: 1 ja 2 Mbps
 - IEEE 802.11a: 6, 12, 24, 54 Mbps
 - IEEE 802.11b: 5.5, 11 Mbps
 - IEEE 802.11g: ~ 25 Mbps
- ETSI: HiperLan, HiperAccess
 - HiperLAN1: 20 Mbbps, HiperLAN2: 25 -54 Mbps
 - HiperAccess: 25 Mbps
 - HiperLink: 155 Mbps
- Bluetooth, HomeRF

IEEE 802.11-standardi

- Ratifioitu 1997
 - 7 vuoden kehitystyön jälkeen
- nopeus 1 tai 2 Mbps
- 2.4 GHz:n lisenssivapaa alue
 - **MAC-kerros ~ Ethernetin kaltainen**
 - CSMA/CA (Collision Avoidance)
 - piilolähetäjäongelma (hidden terminal)
 - **fyysinen kerros**
 - kaksi eri ratkaisua radioaalloille
 - hajaspektritekniikkoja (Spread spektrum), jotka hajauttavat lähetyksen laajalle taajuusalueelle
 - infapuna-aallot

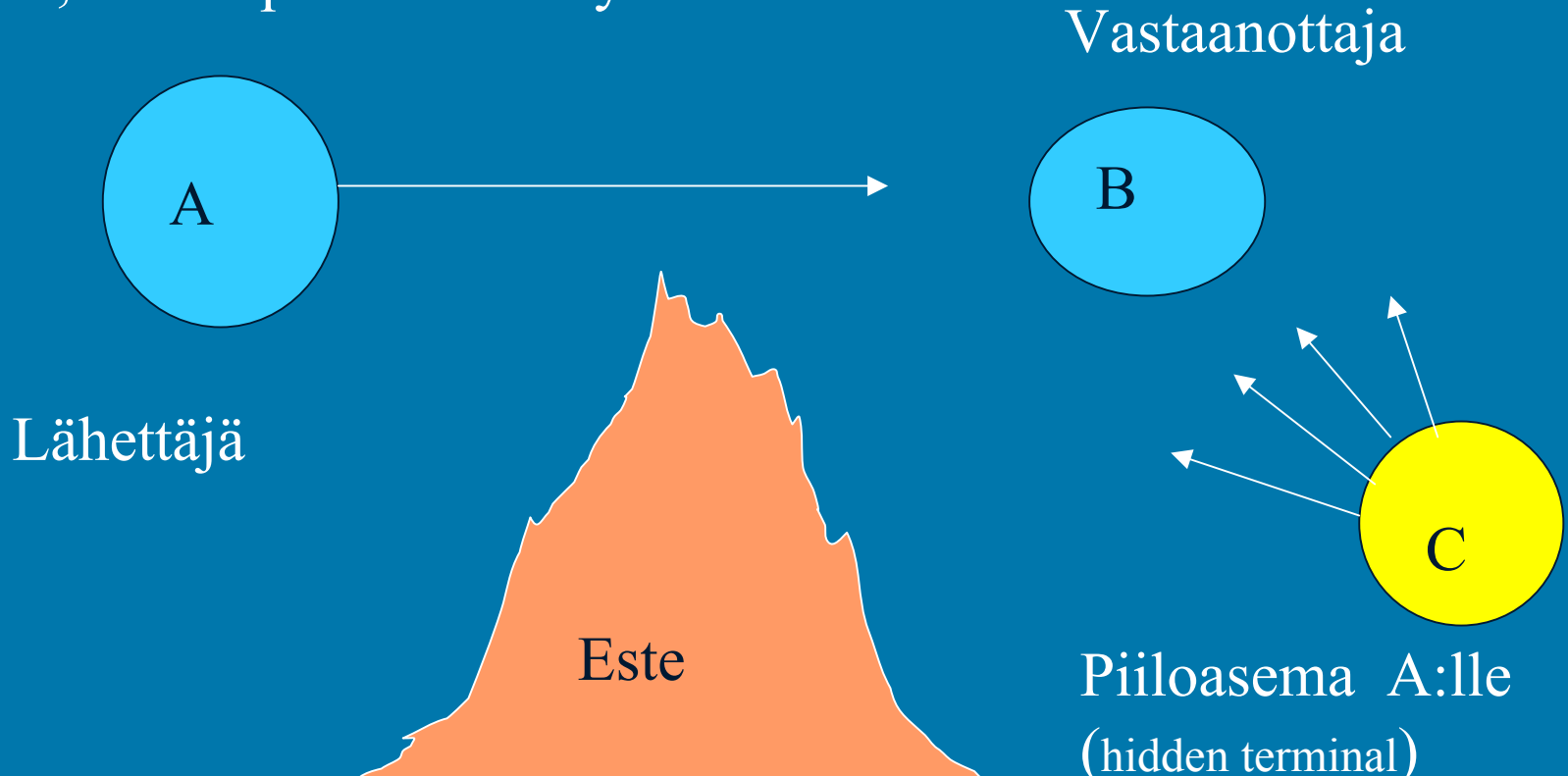
ISM

(Industrial, Scientific, and Medical)

- Radiotaajuudet ovat säänneltyjä ja luvanvaraisia
 - ‘rajallinen luonnonvara: UMTS-lisenssit’
- ISM: Vapaassa käytössä olevia radiotaajuuksia mm. :
 - 902-928 MHz,
 - 2.4-2.483 GHz,
 - 5.15-5.35 GHz,
 - 5.725-5.875 GHz.
- Eri maissa alueiden rajat ja säännökset ovat erilaisia
- yleensä paljon häiritseviä muita laitteita
 - esim. 2.4 GHz:n taajuudelle toimivat monet mikroaaltouun
 - hyvin korkeiden taajuuksien käyttö teknisesti vaativaa

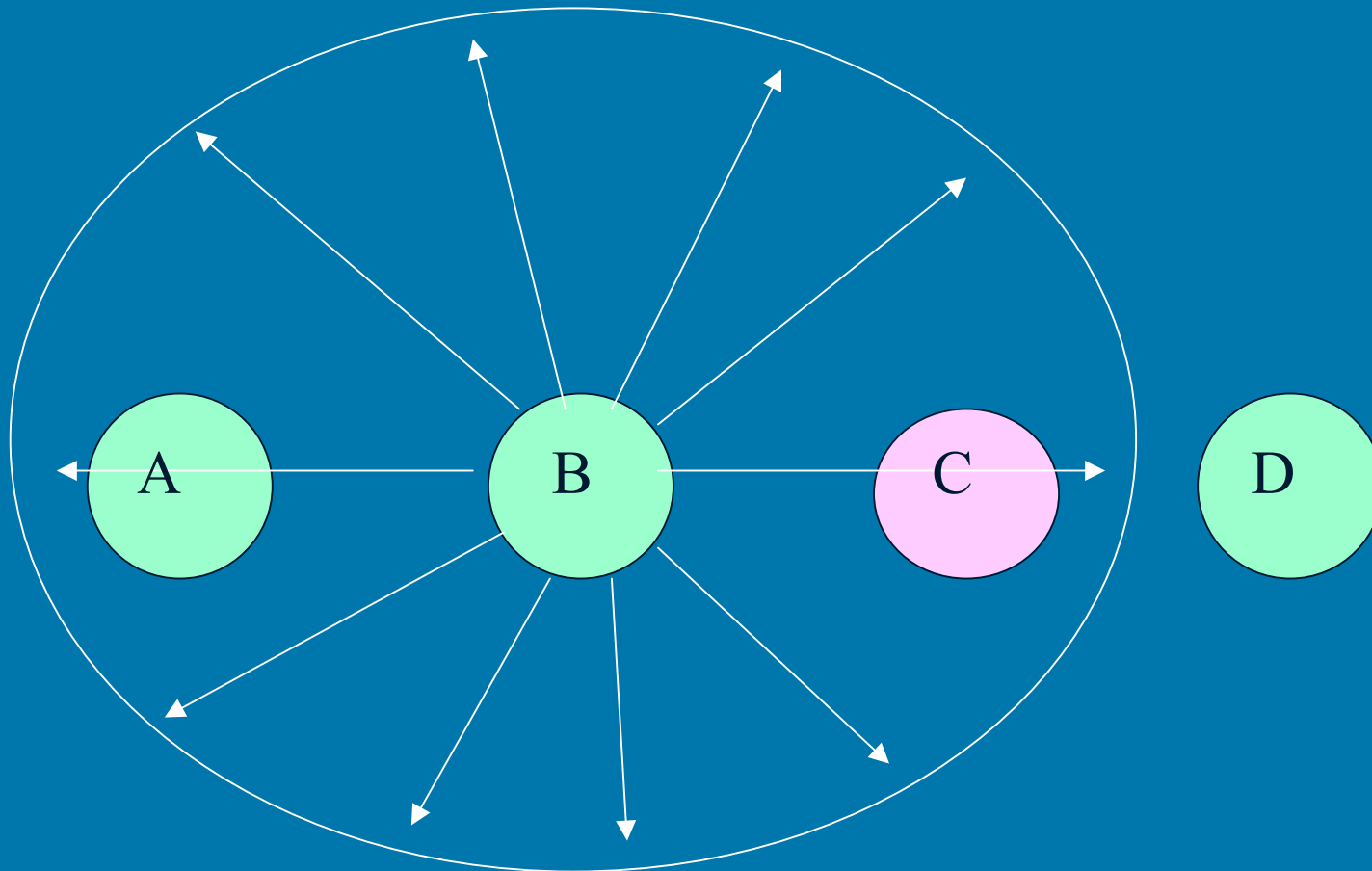
Piiloasemaongelma (Hidden terminal)

Lähettäjä ei kuule C:n lähetystä. Jos A lähettää B:lle, niin tapahtuu törmäys!



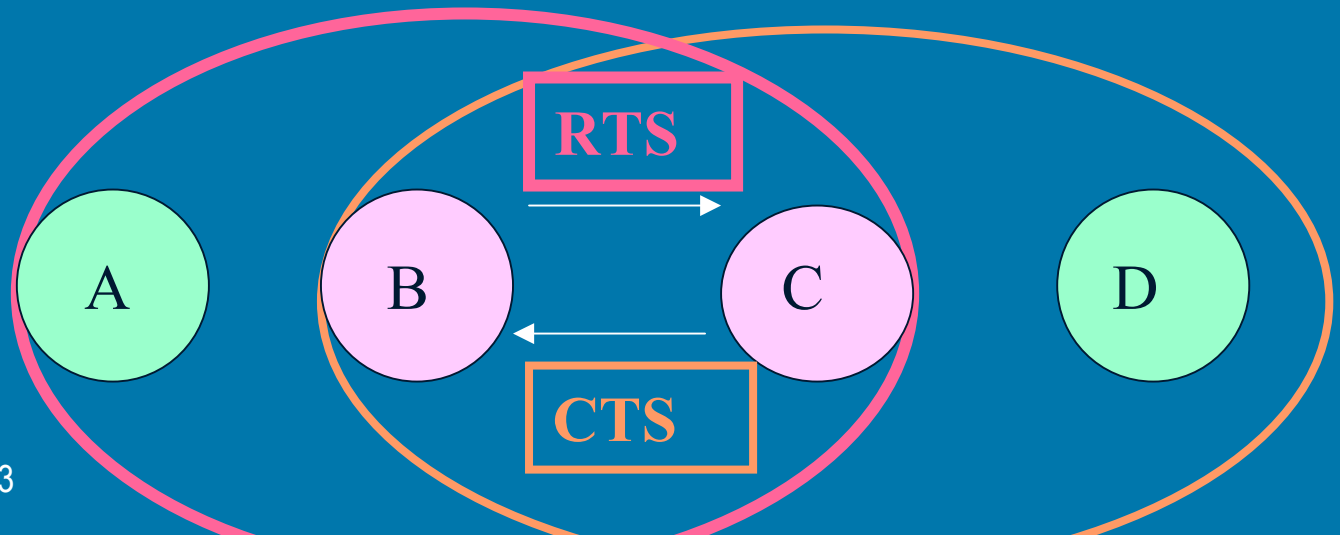
□ exposed station problem:

- B:n lähetys A:lle estää turhaan C:tä lähettämästä D:lle



CSMA/CA (Collision avoidance): lähetysvuoron varaaminen

- RTS (Request to send)
 - lähettäjä kysyy vastaanottajalta lähetyslupaa
- CTS (Clear to send)
 - vastaanottaja antaa luvan lähettää



Datan lähetys B --> C

- B lähettää C:lle RTS-kehyksen (Request To Send)
 - kehyksessä datalähetyksen pituus
 - => A:n naapurit osaavat varoa

- C lähettää B:lle CTS-kehyksen (Clear To Send)
 - datalähetyksen pituus
 - => B:n naapurit osaavat varoa

CSMA/CA: Lähetyksen koordinointi

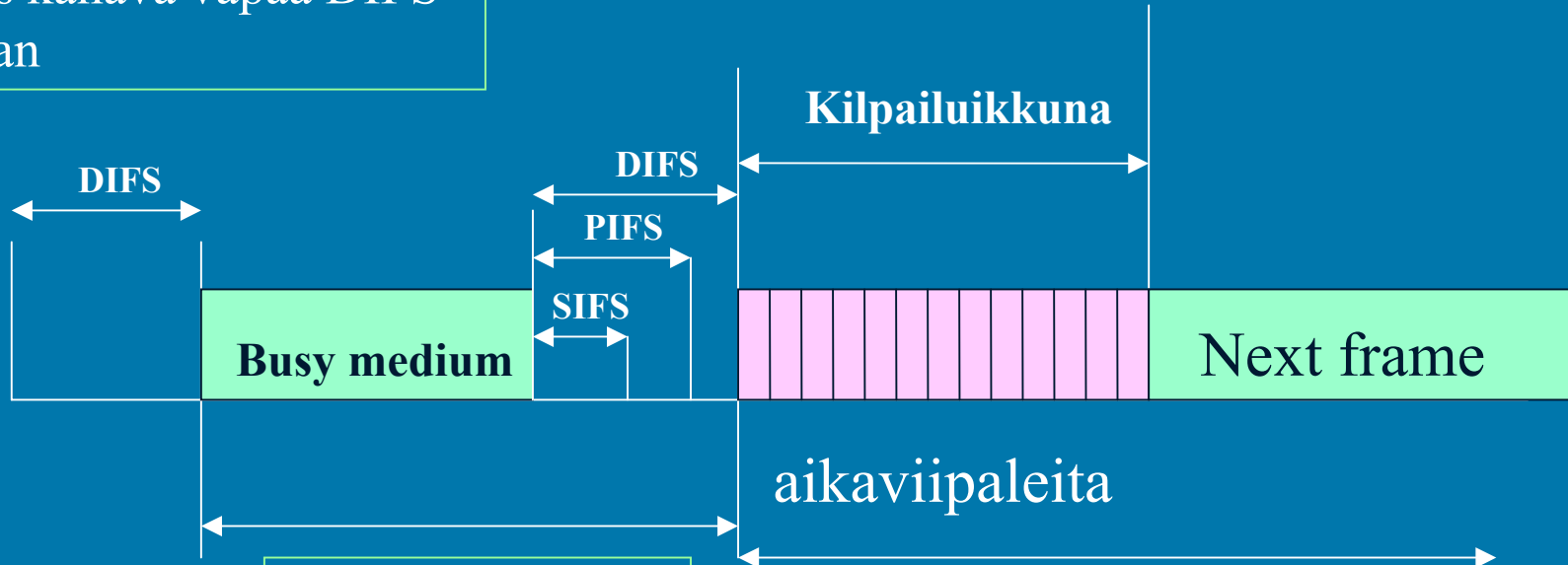
□ IFS (Interframe space)

- erilaisia aikavälejä
 - mitä lyhyempi aika sitä suurempi prioriteetti
 - **DIFS (Distributed IFS)**
 - määrää kuinka pitkään aseman on kuunneltava ennenkuin se voi valmistautua lähettämään tavallista dataa
 - **SIFS (short IFS)**
 - määrää kuinka pitkään on kuunneltava ennen kuittauksen lähettämistä
 - **PIFS**
 - odotusaika ei -kilpaileville lähetyksille

SIFS < DIFS

CSMA/CA: lähettäminen

Voi lähettää vapaasti,
jos kanava vapaa DIFS-
ajan



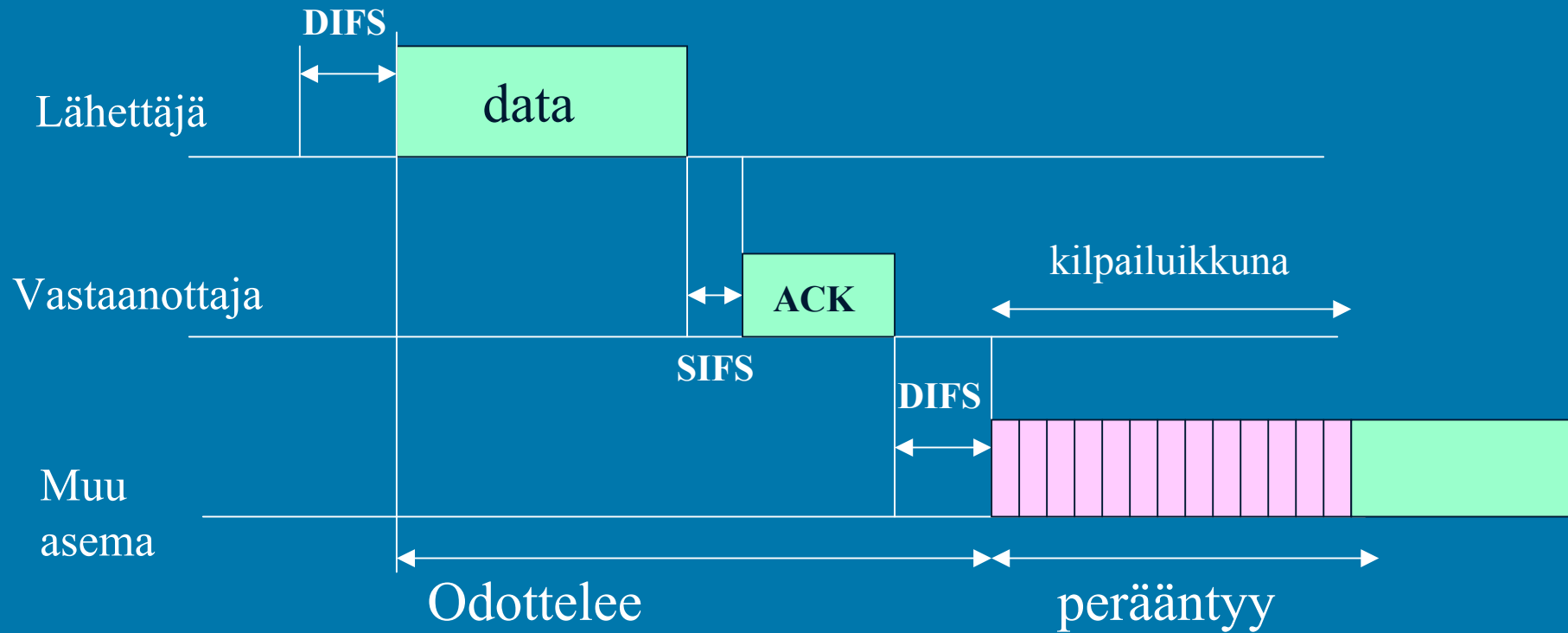
Odotetaan
kanavan
vapautumista

Kun kanava vapautuu, valitaan
satunnainen aikaviipale ja
odotellaan

CSMA/CA: Satunnaisperäntyminen (Random backoff)

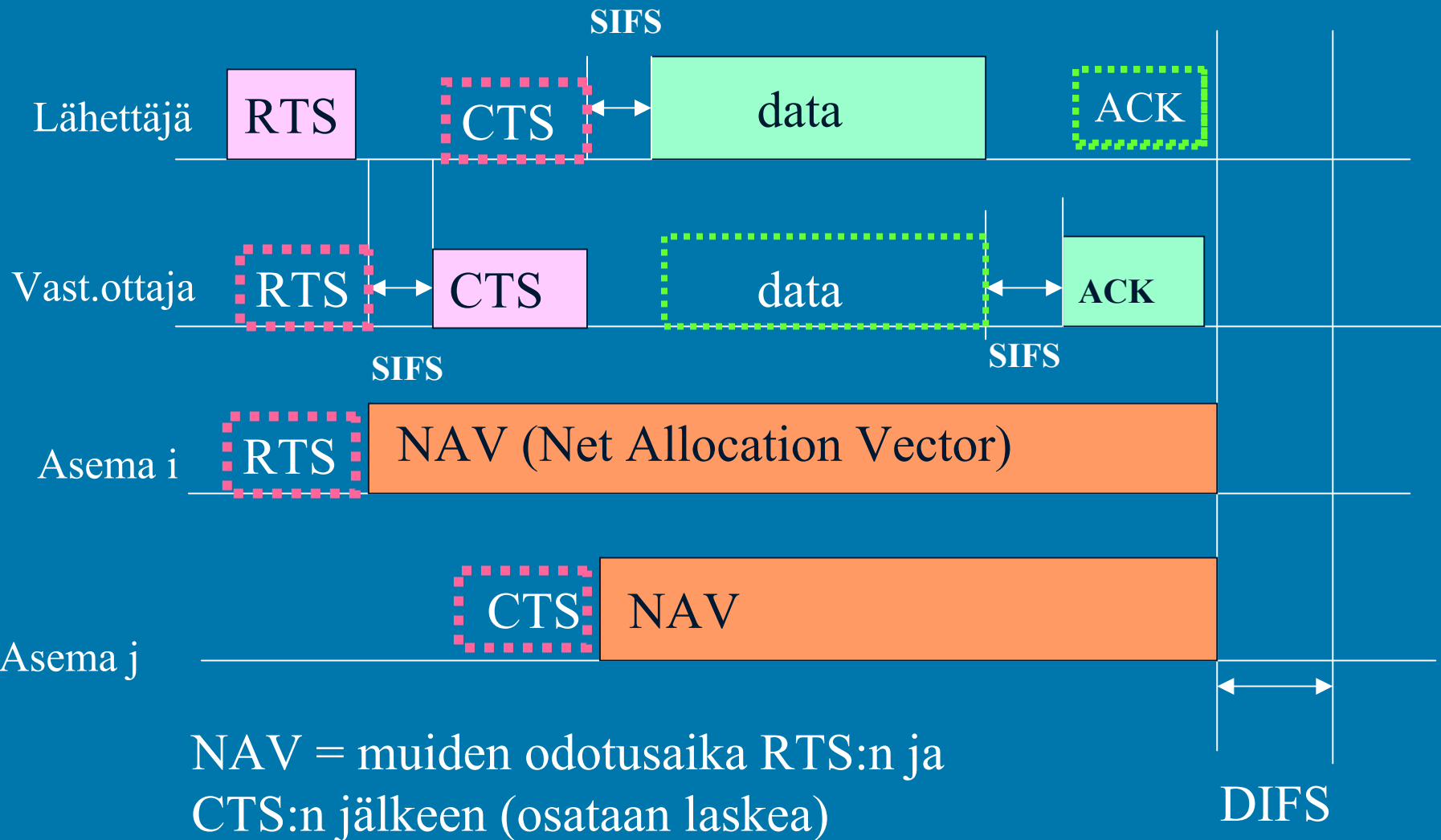
- ❑ samankaltainen kuin Ethernetissä
 - ❑ Kilpailuikkuna : 31-1023 aikaviipaletta
 - oletusarvo 31
 - kasvaa, jos lähetykset törmäävät, pienee kun lähetysohje onnistuu
 - törmäys aina kaksinkertaistaa ikkunan
 - ❑ ikkunasta valitaan satunnainen odotusaika
 - jos kukaan muu ei ala aikaisemmin lähettää, niin aloitetaan lähetysohje odotusajan päätyttyä

Lähetysten kuittaukset



Jos lähettäjä ei saa kuittausta, niin sanoma lähetetään uudestaan

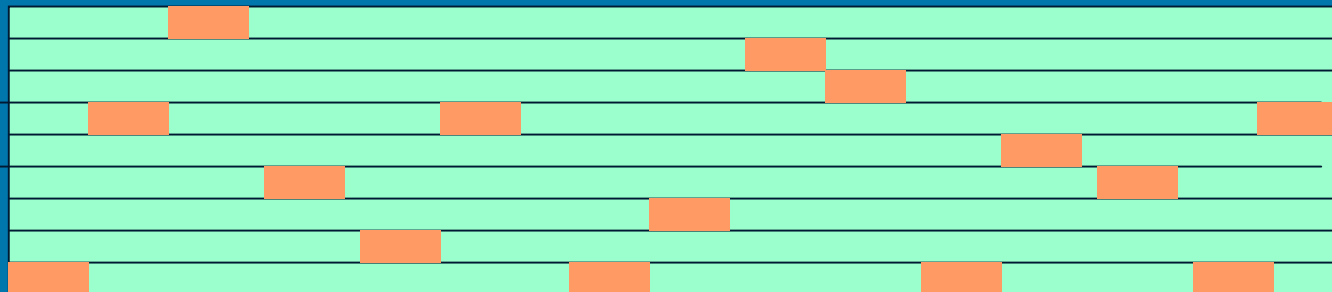
RTS, CTS ja NAV



Fyysinen kerros: hajaspektri

□ FHSS taajuushyppely (frequency hopping)

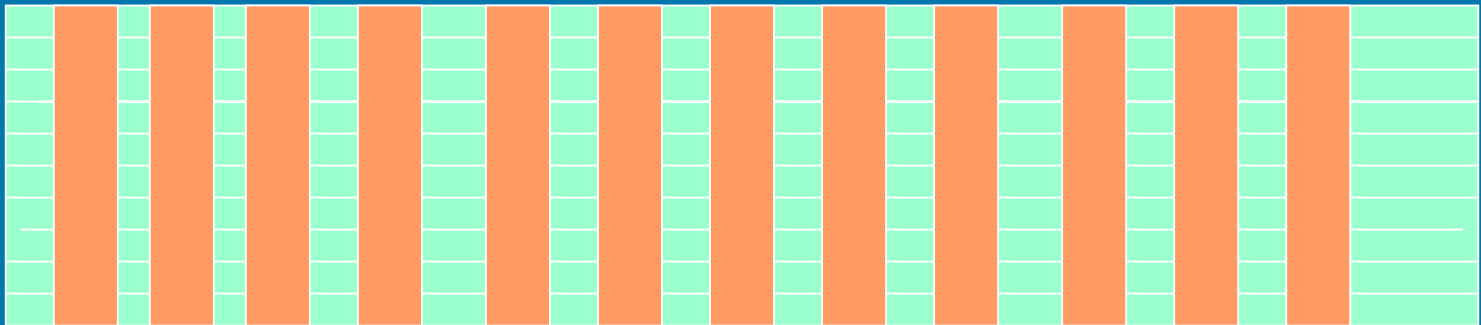
- koko käytössä oleva taajuuskaista on jaettu useaan alikaistaan
 - maksimissaan 79 alikaistaa $\Delta f = 1$ MHz
 - lähetyksessä käytettävä ainakin 6 eri alikaistaa
- lähettäjä vaihtaa alikaistaa koko ajan tietyn kuvion mukaan => vähentää häiriöiden vaikutusta



Hajaspektri: toinen tapa

□ DSSS suorasegvenssi (direct sequence)

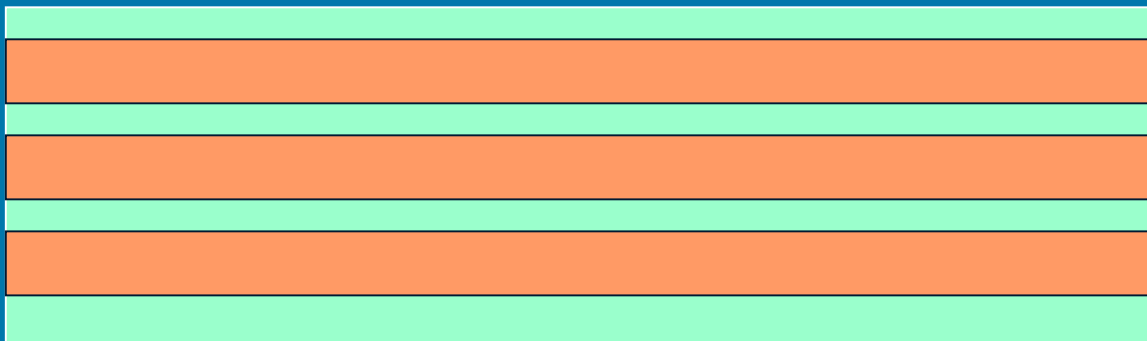
- lähettää datan yhdessä satunnaisen bittisekvenssin (pseudo-noise) kanssa eli useana siruna (vrt. CDMA)
- tuloksena hyvin laajakaistainen, kohinan kaltainen signaali
 - kestää hyvin häiriöitä
 - ei häiritse voimakkaampaa kapeakaistaista lähetystä
 - vaikeaa havaita, salakuunnella tai väärentää



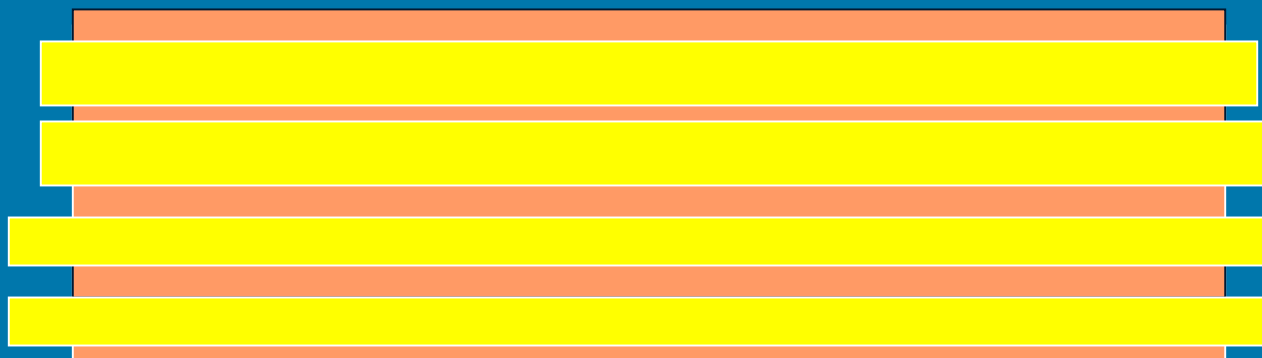
Peruskerros: OFDM

- ❑ **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - ❑ Saadaan suhteellisen kapeaan kaistaan mahtumaan paljon bittejä lähettämällä samanaikaisesti monta signaalia eri alikanavilla (multicarrier modulation), joiden taajuudet voivat olla osin päällekkäisiä
 - ❑ Sopivia taajuuksien kerrannaisia käyttäen => signaalit eivät häiritse toisiaan (mutual interference)
 - ❑ Lupaava, mutta vaativa teknologia, joka hyödyntää digitaalista signaalin prosessointia, Fourier-muunnoksia, yms => 54 Mbps

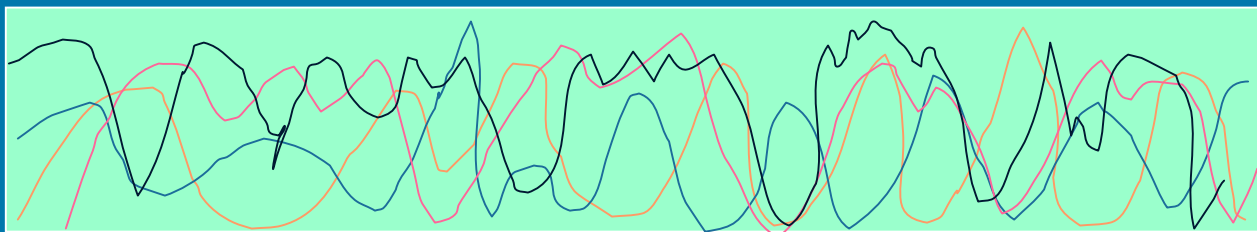
Alikanavien välissä varoalueet, jotta signaalit eivät häiritse toisiaan:



OFDM: alikanavien taajuudet voivat olla osin päällekkäisiä



Silti eri signaalit pystytään erottamaan :



IEEE 802.11a

- ❑ Nopeudet 6->54 Mbps
- ❑ Käyttää 5 GHz:n kaistaa
 - herkkä monenlaisille häiriöille
 - USA:ssa 300 MHz vapaa-alue (UNII)
 - Euroopassa varattu HiperLAN2:lle
- ❑ fyysinen kerros OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - useita alikanavien eri taajuuksia, jotka keskenään ortogonaalisia
- ❑ laitteita vuoden 2001 lopussa

IEEE 802.11b

- ❑ Yhteensopivuus perusversion kanssa
 - 2.4 GHz:n alue
 - samankaltainen fyysinen kerros
- ❑ nopeudet 5.5 tai 11 Mbps (~10 Mbps perus-Ethernet)
 - nopeutus perustuu suurelta osin kehittyneempään modolointitekniikkaan
 - yhtä signaalimuutosta kohden enemmän bittejä
 - sopeutuu automaattisesti lähetyskanava ominaisuuksiin
 - Huonolla linjalla nopeus voi olla vain 1 tai 2 Mbps!

ETSI:n Hiperlan-standardit (vain Euroopassa)

□ HiperLAN-tavoitteita

- suuret nopeudet (> IEEE:llä)
- turvallisuuspiirteet
- priorisointi
- yhteensopivuus 3G-mobiililaitteiden kanssa

□ Standardeja

- HiperLAN1: 20 Mbbps
- HiperLAN2: 25 -54 Mbps
- HiperAccess: 25 Mbps
- HiperLink: 155 Mbps

□ Onko näitä missään käytössä?

HiperLAN2

- ❑ **Nopea:** fyysisellä tasolla 54 Mbps, verkkokerroksella 25 Mbps)
- ❑ Fyysinen kerros lähes samanlainen kuin 802.11a:ssa
 - OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing)
 - 5 GHz
- ❑ **MAC: dynaaminen aikajako** (TDD, Time-Division Duplex)
 - MAC-kehys 2 ms
 - Resource Request -pyyntö ennen lähetystä
 - tässä kilpailua muiden lähettäjien kanssa
 - lähetysvuorot jaetaan ja lähetys tapahtuu ilman kilpailua
- ❑ **Yhteydellinen ja keskitetty valvoja => QoS**
 - Sovituskerros: sovittaa erilaisten linkkikerrosten palvelut
 - solu- tai pakettiliikenteelle (atm tai Ethernet), UMTS, PPP, ..

HiperAccess ja Hiperlink

□ Hiperaccess

- langaton laajakaistayhteys koteihin
 - vrt. xDSL-yhteys ja kaapelimodeemi
- 25 Mbps
- max. 5 km:n etäisyydellä

□ Hiperlink

- kiinteä kaksipisteyhteys
- 17 GHz:n taajuusalueessa
- 155 Mbps nopeus
 - atm-yhteensopivuus

HomeRF

- ❑ Korvaamaan kotiympäristössä 802.11b:n
 - ❑ 802.11b tarkoitettu yritysten käyttöön
 - ❑ kallis ratkaisu
 - ❑ jos laitteita tiiviisti kuten kotona, 802.11b edellyttää keskitettyä valvontaa
 - ❑ ei sovi hyvin äänensiirtoon
- ❑ siirtoetäisyys n. 50 metriä, nopeus 10Mbps (2.4 GHz)
- ❑ ääni + data; äänenlaatu hyvä, koska sille varattu oma kaista
- ❑ Käyttää taajuushyppelyä=> sietää hyvin häiriöitä
- ❑ Laitevalmistajat eivät enää tue?

Bluetooth

- **erilaisten elektronisten laitteiden langattomaan kommunikointiin**
 - Halpa ja yksinkertainen
 - Radiolinkki=>
 - ei tarvitse näköyhteyttä (vrt infrapuna)
 - Monen laitteen välinen kommunikointi
 - 2.45 GHz vapaakäyttöinen radiotaajuus
 - nopeus jopa 2 Mbps saakka
 - 10-100 m etäisyydellä
 - Käyttää taajuushyppelyä: 79 eri 1 MHz taajuutta

Bluetooth:

- ❑ sekä FEC (Forward Error Correction) että CRC (Cyclic Redundancy Check) + uudelleen lähettäminen
- ❑ laitteet voivat muodostaa keskenään verkkoja
 - ❑ pico net: isäntä + enintään 7 orjaa (slave)
 - ❑ hajaverkko (scatternet) yhdistää pico-verkkoja

6.3 Laajaverkot (WAN)

- ❖ Televerkko
 - ❖ runkolinjat
 - ❖ digitaalisia, kuitua
 - ❖ local loop
 - ❖ analoginen, kierretty pari
 - ❖ kanavointi
- ❖ X.25, Frame Relay
- ❖ Atm-verkko

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

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”

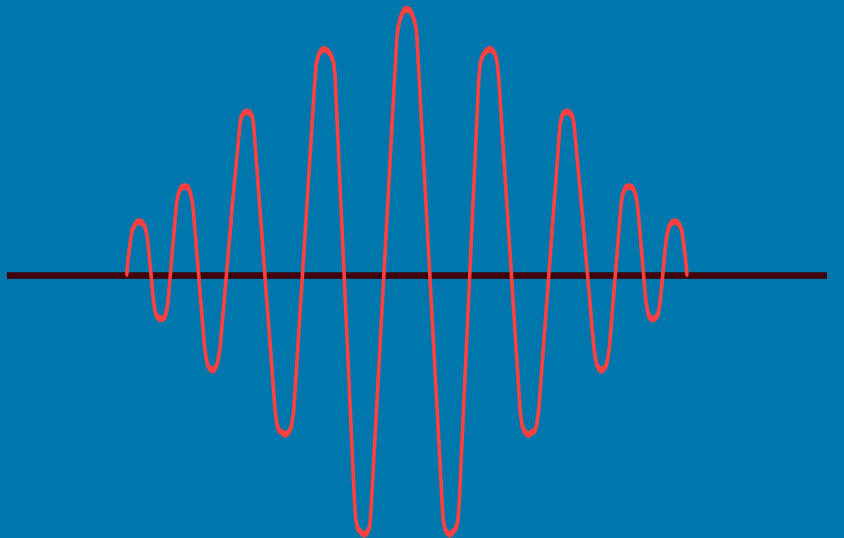
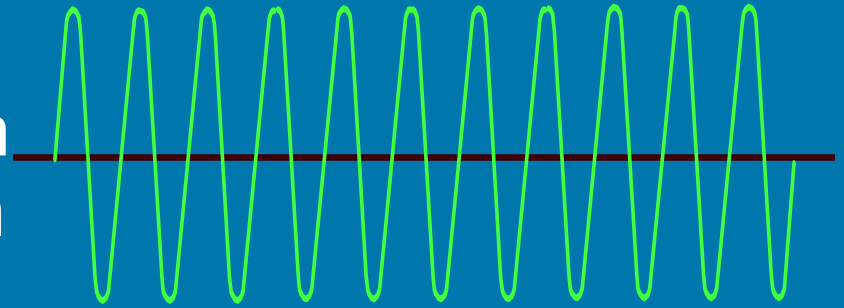
Tiedon koodaus signaaliin

□ bittien koodaukseen
käytetään signaalin

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

□ signalointinopeus

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**



Sinifunktio

- perusesimerkki jaksollisesta funktiosta

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

A maksimiampplitudi

f taajuus

ϕ vaihe

Pelkkä sinifunktio ei pysty sellaisenaan välittämään informaatiota, vaan siinä täytyy olla muutoksia!

Fourier-sarja

- Mikä tahansa (lähes) jaksollinen funktio voidaan esittää Fourier-sarjana
- $g(t) = C/2 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos(2\pi n f t)$

summissa n saa arvot $[1, 4]$

taajuus $f = 1/T$, jossa $T =$ yhden jakson aika (s)

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

$C =$ vakio

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

Esimerkki: 'b'-kirjain

□ $b = 01100010$

□ tästä saadaan jaksollinen funktio, kun ajatellaan b :n lähetyksen toistuvan

□ $01100010 \ 01100010 \ 01100010$



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

$$\square g(t) = 0, \quad 0 \leq t < 1$$

$$1, \quad 1 \leq t < 2$$

$$1, \quad 2 \leq t < 3$$

$$0, \quad 3 \leq t < 4$$

.....

$$1, \quad 6 \leq t < 7$$

$$0, \quad 7 \leq t < 8$$



Kertoimien laskeminen

- ❖ 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
 - ❖ mitä enemmän kertoimia sitä tarkempi approksimaatio

Spektri ja kaistanleveys (bandwidth)

□ signaalin spektri

- $f_2 - f_1$, missä f_1 on pienin ja f_2 suurin signaalin siniaaltokomponentin taajuus

□ siirtomedian kaistanleveys

- väli $[f_1, f_2]$, jolla alueella olevia taajuuksia media pystyy välittämään
 - vääristämättä niitä liian paljon
- siirtomedian ominaisuus

Kaistanleveys ja tiedonsiirto

- mitä suurempi kaistanleveys, sitä suuremmat taajuudet mahdollisia, sitä useampi Fourier-termi kaistaan mahtuu
==> signaalin muoto säilyy oikeampana
 - ❖ Pieni kaistanleveys => siirtonopeus on myös pieni!
 - ❖ Suuri kaistanleveys sallii suuremmat nopeudet

Kanavan siirtokyky

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

Esimerkki

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

Esimerkki jatkuu

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

Esimerkki jatkuu yhä

- ❑ tiedonsiirtonopeus 38400 bps
- ❑ ja kanavan kaista 3000 Hz
- ❑ => 1. termi = 4800 Hz

- ❑ => binääritietoa eli kaksiarvoista (0, 1) ei voida lähettää, sillä kaistaan ei mahdu yhtään tämän taajuisen signaalin termiä!

Miten suuremmat nopeudet ovat mahdollisia?

- ❑ Kyseessä oikeastaan signaalimuutosten määrä aikayksikössä: baudit
- ❑ signaalilla voi olla useita tasoja
 - kaksi tasoa: 0 ja 1
 - useampia tasoja : esim. 0, 1, 2 ja 3
 - Tasojen määrä kasvattaa yhdessä muutoksessa välittyvää informaation määrää: 1 bitti, 2 bittiä, ... eli \log_2 (tasojen lukumäärä)

Nyquistin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus häiriöttömällä kanavalla

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

C = tiedonsiirtonopeus (bps)

H = kaistanleveys

V = tasojen lukumäärä

Näytteiden otto

□ Nyquist =>

□ Jos siirtokanavan kaistanleveys on H , niin kaikki kanavan kuljettama informaatio saadaan ottamalla kanavasta $2H$ näytettä sekunnissa

- tiuhempi näytteiden otto ei enää tuota lisää informaatiota
- Kaikki, mitä tapahtuu havaitaan tutkimalla tilannetta $2H$ kertaa sekunnissa

Esimerkki

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

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
- suuri SNR => hyvä signaalin laatu

Shannonin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus **kohinaisessa** kanavassa

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

H kaistan leveys

S signaalin teho watteina

N kohinan teho watteina

Esimerkki

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

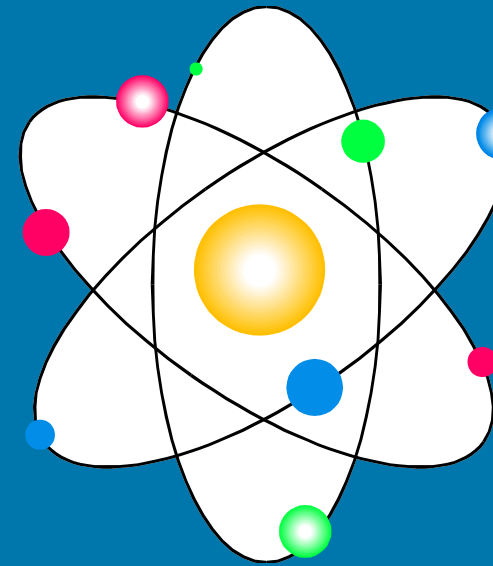
$$SNR = 20 = 10 \log_{10} (S/N)$$

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

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

Esimerkki jatkuu

- Tyypillisesti $\text{SNR} = 30 \text{ DB} \implies$
- 3000 Hz:n kanavalla teoreettinen maksimi aina < 30000
- käytettiin koodauksessa kuinka monta tasoa tahansa
- 'luonnonlaki' ~ valon nopeus



Laajaverkot (WAN)

- **Televerkko**

- Modeemi, xDSL, kanavointi, PCM, T1, SONET

- **X.25, kehysvälitys** (Frame Relay)

- **Atm-verkko**

Puhelinverkko

- ❑ Olemassa oleva infrastruktuuri 'tiedon' kuljetukseen
- ❑ ongelma
 - ❑ äänenkuljetusteknologian sopivuus tietokoneiden väliseen kommunikointiin
 - ❑ datalinja 10^{**7} - 10^{**9} bps, BER $\sim 10^{**-12}$
 - ❑ puhelin 10^{**5} bps, BER $\sim 10^{**-5}$ (?)
 - ❑ vrt. 1 km/t \leftrightarrow 100 - 10000 km/t
 - ❑ MTBF 2.8 min \leftrightarrow 53 vuotta

Ristiriita

- ❑ eri taajuudet vaimenevat eri tavoin
- ❑ eri taajuudet etenevät eri nopeudella
- ❑ \implies **kapea kaista**
 - ❑ vähemmän virheitä analogisissa signaaleissa
- ❑ digitaalinen 'kantti'-signaali
- ❑ \implies **leveä kaista**
 - ❑ digitaalisen signaalin muoto säilyy

Digitaalisen signaloinnin edut

- ❑ vaimenee ja vääristyy nopeammin, mutta ylläpidettävissä
 - ❑ vähemmän virheitä
- ❑ eri tietomuodot limitettävissä
 - ❑ ääni, kuva data
- ❑ suuret siirtonopeudet
- ❑ tekniikka yksinkertainen
- ❑ => puhelinverkon digitalisointi

Modeemi

- ❑ muunnokset digitaalisen ja analogisen signaalin välillä
- ❑ kehittynyt modeemi moduloi sekä amplitudia että vaihetta
 - ❑ taajuuden havaitseminen on liian hidasta!
- ❑ 'constellation pattern' ilmoittaa käytetyt vaiheet ja amplitudit

Modeemeja

- ❑ QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
 - ❑ 9600 bps 2400 baudin linjalla, 16 eri 'tasoa' = 4 bittiä
- ❑ V.32bis
 - ❑ 14 400 bps 2400 baudin linjalla, 64 tasoa => 6 bittiä
- ❑ V.34
 - ❑ 28.8 Kbps => 33.6 Kbps (teoreettinen raja (Shannon): 35 Kbps)
- ❑ V.90, V.92
 - ❑ 56 Kbps
 - ❑ "V.90 will be the final analog modem speed standard."

xDSL-modeemit

- digitaalinen paikallissilmukka
 - (Digital Subscriber Loop)
 - kierretyn parin kaistanleveys $\gg 4000\text{Hz}$
 - 4 000 Hz:n rajoitus puhelintekniikasta
- useita hieman erilaisia ratkaisuja
 - ADSL
 - SDSL
 - HDSL
 - VDSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop)

- ❑ kaksi eri nopeutta
 - ❑ hidas tilaajalta palvelulle (esim. tilausvideo)
 - ❑ nopea palvelulta tilaajalle
 - ❑ maksimissaan 6 - 8 Mbps alavirtaan, 0.8-1 Mbps ylävirtaan
 - ❑ nopeus riippuu johdon laadusta ja etäisyydestä
- ❑ samanaikainen puhelin- tai ISDN-yhteys
- ❑ menetelmät
 - ❑ DMT (Discrete MultiTone)
 - ❑ CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation)

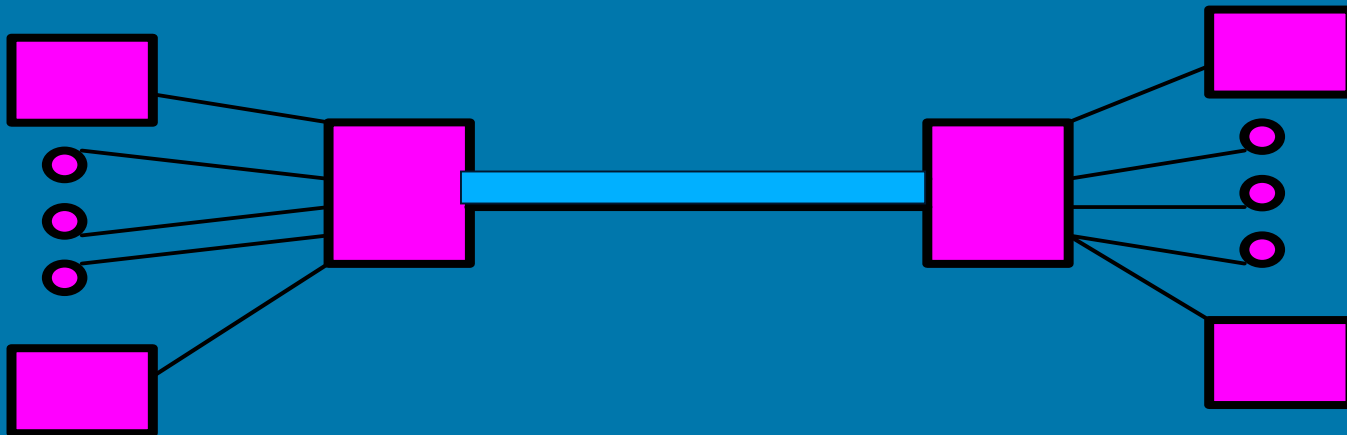
DMT (Discrete multitone)

- jaetaan kaista **alikanaviin** (ANSI T1.413):
 - 256 kappaletta 4 KHz:n alikanavaa,
 - 32 kaksisuuntaista => lähettävät myös ylävirtaan
 - kullakin kanavalla oma QAM-modeemi
 - vaihtelevat bittinopeudet eri kanavilla 0-16 bpHz
 - signallointi sovitettu eri taajuuksien ominaisuuksiin
 - siirrettävän sanoman bitit jaetaan eri kanaville kanavien laadun (\sim SNR) perusteella
 - lähetyskanavan laatua valvotaan ja niiden kuormitusta muutetaan tarpeen mukaan, jopa suljetaan tarvittaessa
 - monimutkainen laskenta => paljon

Kanavointi (multiplexing)

□ Kanavointi (tai limitys)

- runkolinja yhteiskäytössä



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

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

WDM (Wavelength Division Multiplexing)

□ valokaapelissa käytetty FDM

- samassa kaapelissa voidaan lähettää useita, 4-32 eri aallonpituutta
 - ~ valo ja sen eri aallonpituudet eroavat prismassa
 - DWDM (Dense wavelength division multiplexing)
- nykyisten kuituyhteyksien nopeudet saadaan moninkertaisiksi
 - yhdessä kuidussa päästään jopa 960 Gbps
 - jakamalla kuitu kanaviin => terabittinopeuksia

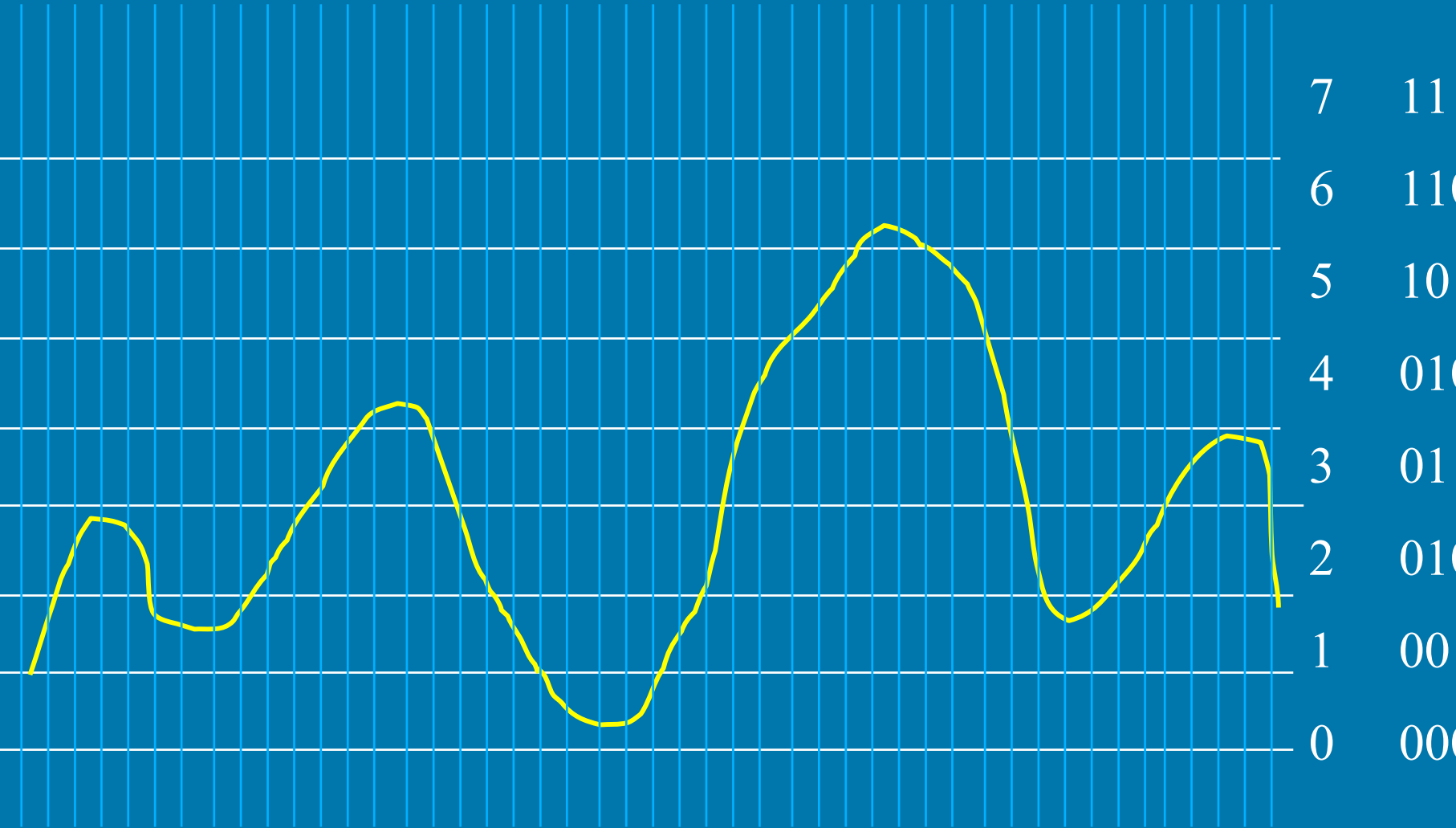
Aikajakokanavointi TDM

- ❑ 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 analogisen signaalin digitalisointiin
 - nykyaikaisen puhelinjärjestelmän ‘peruspalikka’
 - useita erilaisia versioita käytössä
 - USA, Japani: T1 carrier -tekniikka
 - ITU-T (CCITT)
 - otetaan anal. signaalista näytteitä, joiden arvo esitetään kiinteällä bittimäärällä (usein 8 tai 64)

Yleensä tasoja on 256 kappaletta => 8 bittiä



**Näytteitä tarpeeksi tiuhaan
(Nyquist: 2* maksimitaajuus)**

$$2 * 4000 * 8 \text{ b/s} = 64 \text{Kbps}$$

T1-linja (tai DS1 (digital signal))

- ❖ 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
 - $193 \text{ bittiä} / 125 \mu\text{s} \Rightarrow 1.544 \text{ Mbps}$
 - ❖ eurooppalainen E1 2.048 Mbps
- ❖ käytössä esim. vuokralinjoilla

T1-linjojen yhdistäminen

- ❖ T1-linjoja voidaan yhdistää edelleen
 - 4 T1-linjaa \Rightarrow T2-linja (6.312 Mbps)
 - 6 T2-linjaa \Rightarrow T3-linja (44.736 Mbps)
 - 7 T3-linjaa \Rightarrow T4-linja (274.176 Mbps)
 - joka yhdistämisellä lisätään bittejä kehystystä ja kehysvirheestä toipumista varten
- ❖ useita erilaisia yhdistämistapoja
 - ITU: yhdistetään jatkossa aina neljä joka kerralla
 - 32, 128, 512, 2048, 8192 kanavaa \Rightarrow 2.048 - 565.148 Mbps

SONET/SDH

- ❖ **SONET** (Synchronous Optical NETwork)
 - ❖ **Bellcore**
- ❖ **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy)
 - ITU-T
 - lähes samanlaiset!
- ❖ korvaamaan eri tahoilla kehitetyt optiset TDM-käytännöt
- ❖ Käytössä erityisesti Internetin runkolinjoilla

Tavoitteet

- ❖ kaukopuhelun fyysisen kerroksen standardi
 - ❖ operaattoreiden yhteistoiminta
 - ❖ aallonpituus, ajoitus, kehysrakenne, ...
 - ❖ PCM-kanavoinnin 'yhtenäistäminen'
 - ❖ digitaalikanavien limitys runkolinjoihin
 - ❖ T3 =>
 - ❖ toiminnan, hallinnan ja ylläpidon tuki
 - ❖ OAM (operation, administration, management)

❖ 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-näytteenottotaajuus)
- lähetetään oli dataa tai ei

SONET-kehys

❖ 810 tavua =

9 riviä, jolla kullakin 90 saraketta

- kehyksen 3 ensimmäistä saraketta hallintaa varten
 - vierekkäisten laitteiden keskinäistä tiedonvaihtoa
 - MUX:ien välistä tiedonvaihtoa
- 87 saraketta käyttäjändataa = >
SPE (Synchronous Payload Envelope)
 - $87 * 9 * 8 * 8000 = 50.112$ Mbps

SPE

- ❖ kuljetushallinnon yksikkö (~‘kontti’)
- ❖ voi 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
- ❖ hallintatietoa lähettävän ja vastaanottavan SONET-terminaalin (esim. reititin) välillä
 - ❖ siirtoon liittyvää tietoa

Datavirtojen limitys

❖ siirtonopeus

- $8 \times 810 = 6480$ bittiä $\Rightarrow 51.84$ Mbps \Rightarrow
OC-1 optisille signaaleille (STS-1 (Synchronous Transport Signal-1) elektromagneettisille signaaleille)

❖ limitys

- kolme OC-1 \Rightarrow OC-3 = 155.52 Mbps
- neljä OC-3 \Rightarrow OC-12 = 466.56 Mbps
- ... \Rightarrow OC-192 = 9953.28 Mbps ~ 10 Gbps
- Vastaavasti STS-1 STS-192

X.25

- ❖ ensimmäinen **julkinen** pakettikytkentäinen teknologia, maks 64 kbps
 - kehitettiin 70-luvun lopussa, käytössä vielä 90-luvulla, tuskin missään enää käytössä
 - vanhanaikaiseen puhelinverkkoon
 - vanhoja kuparikaapeleita => paljon virheitä
 - => **HDLC-tyyppinen siirtoyhteysprotokolla**
 - virhetarkistus ja kuittaus sekä vuonvalvonta joka linkillä
 - tyhmiä päätteitä => älykkyys verkkoon
 - => **virtuaalipiiriverkko**

Kehysvälitys (Frame Relay)

- ❖ “second-generation X.25”
 - kehitettiin 80-lopussa, käytössä 90-luvulla
 - virtuaalipiiriverkko (usein pysyvä)
 - ei virhevalvontaa, ei vuonvalvontaa
 - lasikuitulinkit lähes virheettömiä
 - taattu lähetysnopeus
 - käytetään LANien yhdistämiseen
 - IP-liikennettä yrityksen eri toimintapisteiden välillä
 - luotettavampi kuin Internet!
 - 64 kbps ... 1.544 Mbps

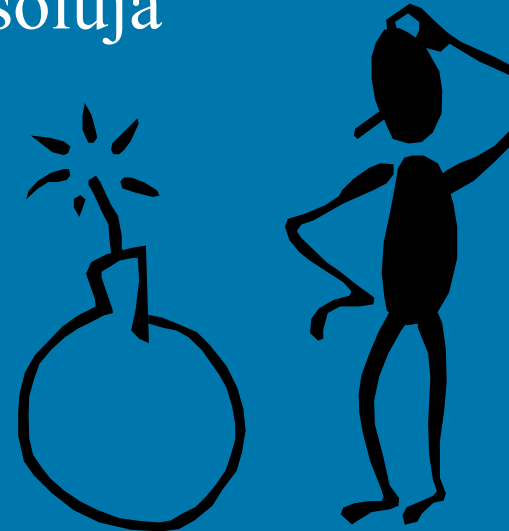
ISDN (Integrated Services Digital Network)

Telelaitosten suurisuuntainen hanke

- 70- ja varsinkin 80-luvulla: IDN (Integrated Digital Network) => ISDN
- yhdistää ääni- ja datapalvelut
- evolutionäärinen kehitys
 - N-ISDN (Narrowband ISDN) => mm. Frame Relay
 - 64 Kbps
 - B-ISDN => **atm** (asynchronous transfer mode)
- Internet-käyttö
 - 2B+D => 144 Kbps ~ modeeminopeus 28.8 -56 kbps

B-ISDN (Broadband ISDN)

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



Atm

(Asynchronous Transfer Mode)

- ❖ ITU ja ATM Forum kehittivät atm-standardeja 80-luvun puolivälistä lähtien
 - pakettivälitystä virtuaalipiirissä
 - erilaista palvelua erityyppisten sovellusten tarpeisiin
 - pieni paketin eli solun koko = 48 tavua + 5 tavun otsake
 - solukytöntä (cell switching)



- ❑ telelaitosten suurisuuntainen projekti

- koko puhelinverkon korvaaminen!
- muiden televerkkojen korvaaminen
- TV-verkkojen ‘kaappaaminen’

- ❑ erilaisten sovellusten tarpeisiin

- ❑ mukana myös palvelun laatu ja verkon hallinta
- ❑ ääntä, kuvaa, tekstiä

- ❑ erilaisiin verkkoihin: runkoverkot => LAN

- ❑ toimii erilaisten fyysisten kerrosten päällä

- ❑ SONET

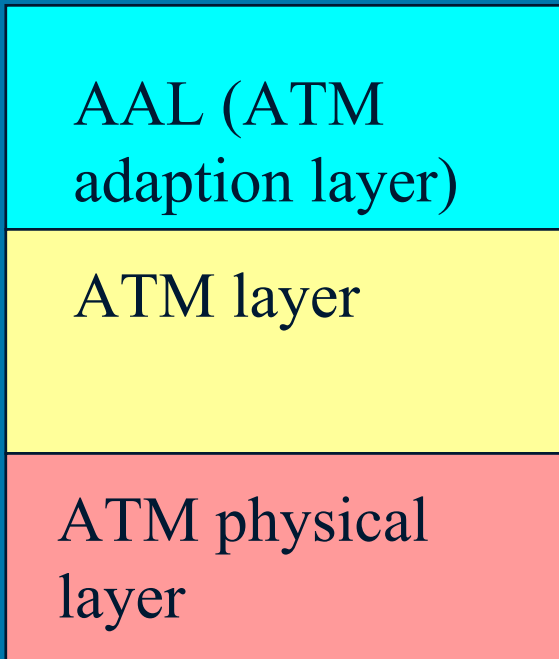
Atm on yhteydellinen

- ❖ **virtuaalikanava** (virtual channel)
 - yksisuuntainen **virtuaalipiiri**
 - pakettien (solujen) järjestys yhdessä virtuaalikanavassa säilyy
 - eri virtuaalikanavilla järjestystä ei taata
 - runkolinjoissa yleensä kiinteät virtuaalipiirit
- ❖ virtuaalikanavat voidaan ryhmitellä **virtuaalipoluiksi** (virtual path)
 - ~ johtokimppu
 - reititetään yhdessä

Atm-käyttö

❖ Runkolinjoissa

- n. 80% on atm-linjoja
 - atm-kytkin on nopea
 - terabittejä sekunnissa
 - Pieni solu ja yksikertainen otsake => nopea käsittely
 - IP-over-atm
 - IP pitää atm-verkkoa linkkitason yhteytenä



atm-sovituserkerros: eri tarpeisiin erilaisi

AAL 5 IP-liikenteelle

atm-kerros

atm:n fyysinen kerros

siirtää atm-soluja fyysisellä linkillä

Atm:n kolme kerrosta

Atm-kerros

- ❖ ei käytetä kuittauksia eikä uudelleenlähetystä
 - tarkoitettu luotettaville valokaapeliverkoille
 - yhden tai muutaman bitin virheen korjaus tarkistussumman avulla
 - tosiaikainen liikenne
- ❖ otsakkeen tarkistus
 - HEC
 - ATM Fyysinen kerros käyttää solurajojen selvittämiseen

Solun otsake



VPI Virtual Path Identifier

VCI Virtual Channel Identification

PT Payload Type

CLP Cell Loss Priority

HEC Header Error Check

❖ CLP

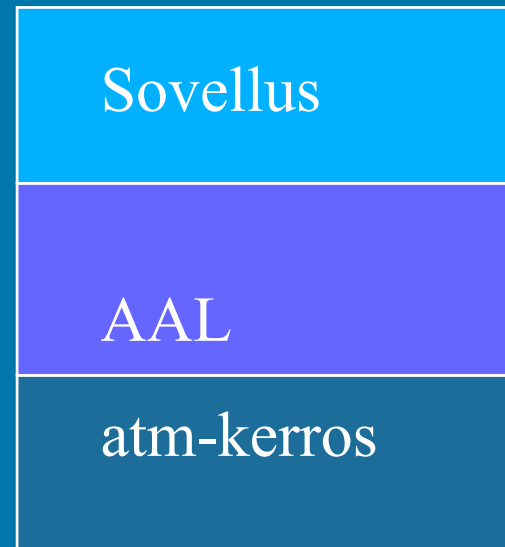
- tärkeä tai vähemmän tärkeä solu
- ruuhkan sattuessa hävitetään ensin vähemmän tärkeät

❖ HEC

- laskee tarkistussumman otsakkeelle
 - korjaa yhden bitin virheet
 - havaitsee noin 90 % virheryöpyistä
 - valokuidussa suurin osa virheistä yhden bitin virheitä

AAL-kerros

- Sovittaa erilaiset protokollat (esim. IP) ja sovellukset (esim. video ja ääni) toimimaan atm-kerroksen päällä
 - IP-reitittimien välillä
 - isäntäkoneiden välillä

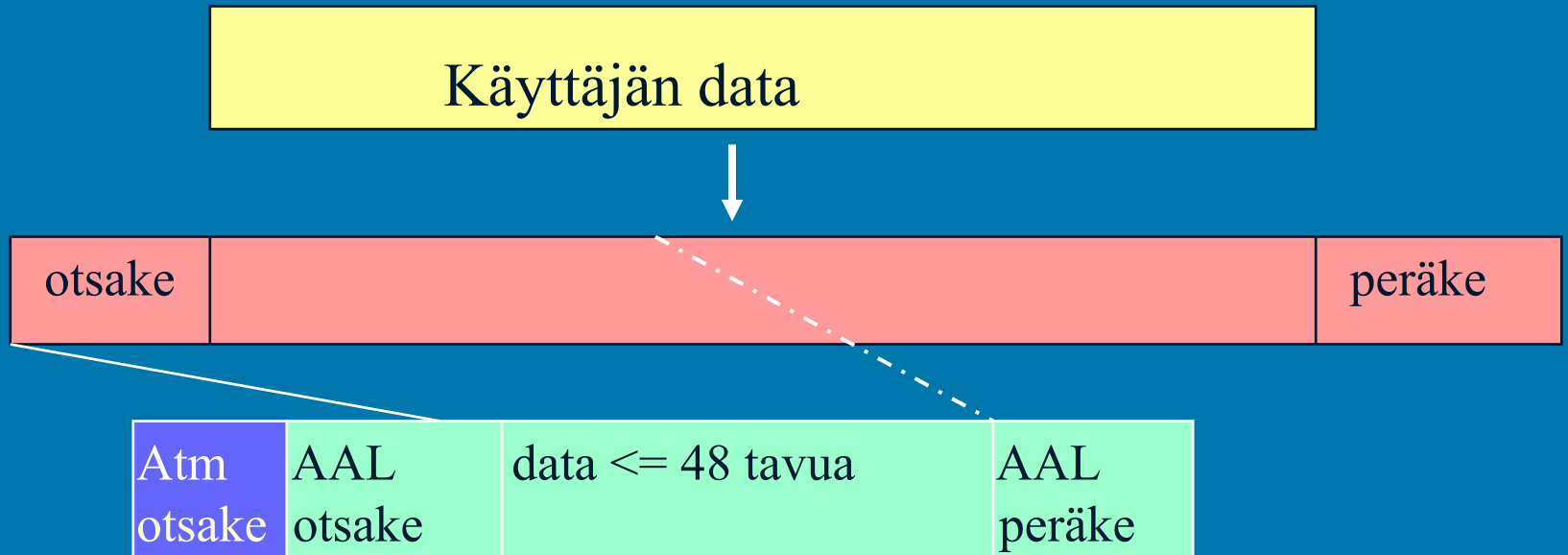


Palveluluokat

- ❑ **CBR** constant bit rate
 - ❑ T1- piiri, ~sähköjohto
- ❑ **RT-VBR** variable bit rate, real time
 - ❑ videokonferenssi
- ❑ **NRT-VBR** variable bit rate, non-real time
 - ❑ multimedia sähköposti
- ❑ **ABR** available bit rate
 - ❑ selailu www-verkossa
- ❑ **UBR** unspecified bit rate
 - ❑ tiedonsiirto tausta-ajona, IP-pakettien siirto

Erilaisia AAL-kerroksia

- ❖ AAL 1: CBR-palvelua varten
- ❖ AAL 2: VBR-palveluihin
- ❖ AAL 5: datalle (esim. IP-liikenteelle)



ATM:n ongelmia

- ❖ suurimmat nopeudet OC-48 –luokkaa: segmentointi ja uudelleen kokoaminen rasittavat ('on jo liian hidas'
- ❖ solun otsakkeen yleisrasite liian suuri
- ❖ AAL-kerrokset melko onnettomia => AAL5
- ❖ erilliset signaalointi- ja reititustoiminnot
- ❖ hankala sovittaa LAN:iin (LAN-emulointi)
- ❖ => MPLS-teknologia (Multi-Protocol Label Switching)
 - Vaihtelevan mittaisia paketteja
 - Käyttää IP-reititystä