

-
-

Laajaverkot (WAN)

Puhelinverkko

- kanavointi

X.25, Frame Relay

Atm-verkko

Puhelinjärjestelmä

- 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

==> kapea kaista

- vähemmän virheitä analogisissa signaaleissa

- digitaalinen 'kantti'-signaali

==> 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’
- **V.32bis**
 - 14 400 bps 2400 baudin linjalla, 64 tasoa => 6 bittiä
- **V.34**
 - 28.8 Kbps => 33.6 Kbps
- **V.90**
 - 56 Kbps
 - “V.90 will be the final analog modem speed standard.”

xDSL-modeemit

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

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop)

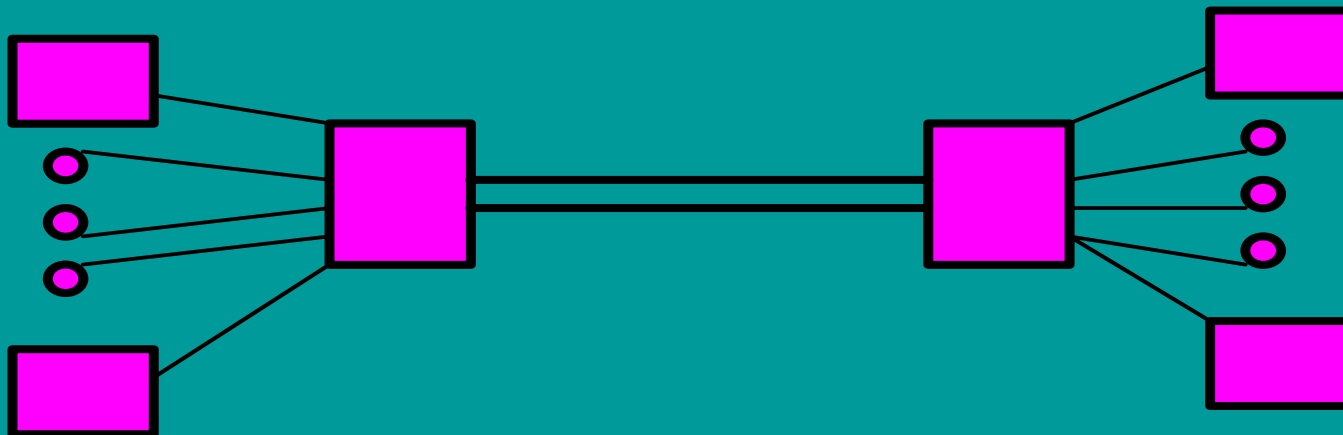
- **kaksi eri nopeutta**
 - hidas tilaajalta palvelulle (esim. tilausvideo)
 - nopea palvelulta tilaajalle
 - maksimissaan 6 - 8 Mbps alavirtaan, 0.8-1 Mbps ylävirtaan
 - nopeus riippuu johdon laadusta ja etäisyydestä
- **samanaikainen puhelin- tai ISDN-yhteys**
- **menetelmät**
 - DMT (Discrete MultiTone)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

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

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 400 Gbps
 - jakamalla kuitu kanaviin => terabittinopeuksia

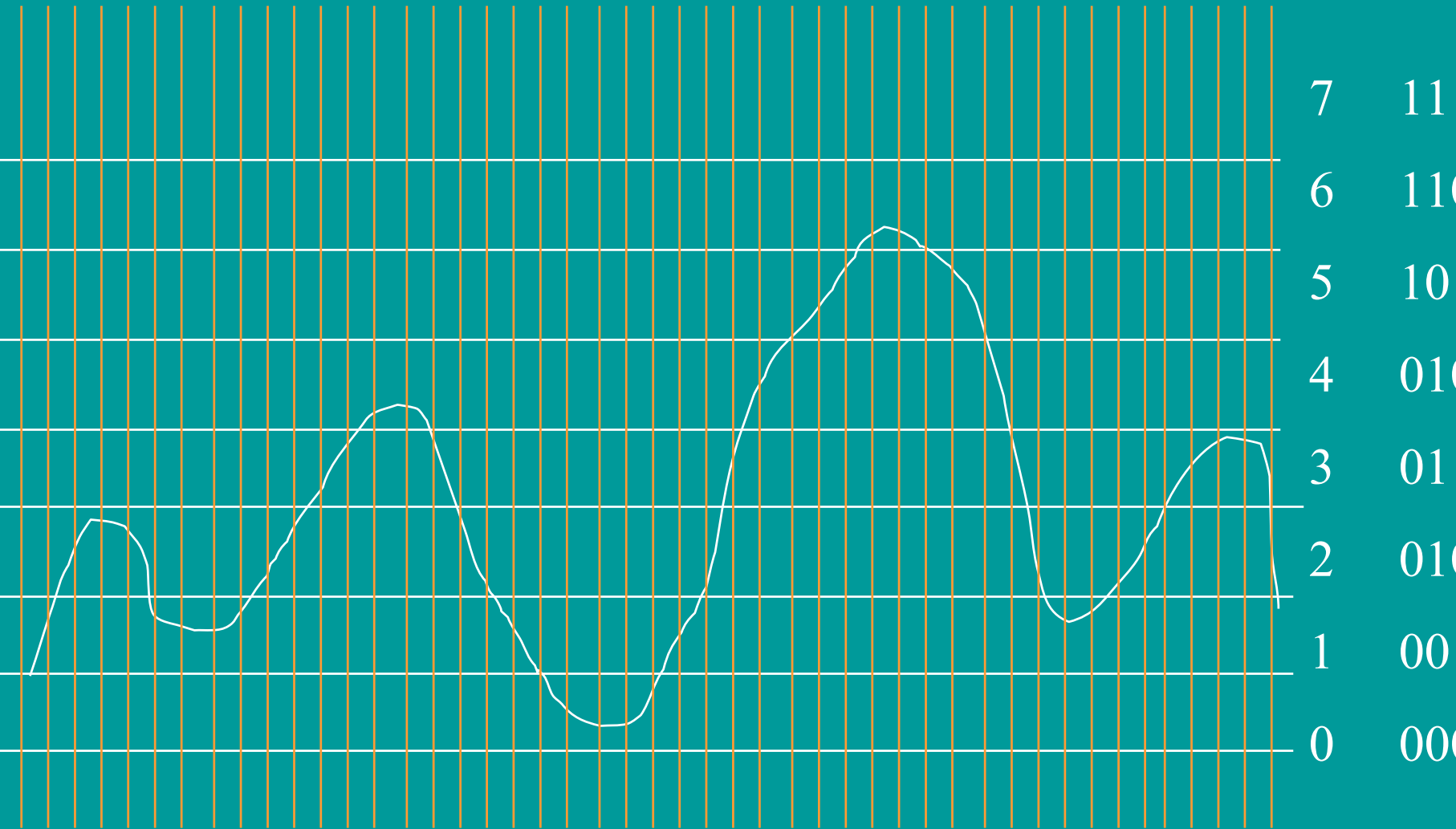
Aikajakokanavointi TDM

- **digitaalikanavan yhteiskäyttö**
 - FDM: vain analogisille linjoille
- **TDM vain digitaaliselle datalle**
 - puhelinverkossa
 - 'local loop' analoginen
 - runkolinjat digitaalisia
 - tarvitaan muunnos analogisesta digitaaliseen

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 määrällä (usein 8) bittejä.

Yleensä tasoja on 256 kappaletta => 8 bittiä



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

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

T1 Carrier

- 24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen
 - näyte = 8 bittiä, joista yksi pariteettibitti
 - $7 * 8000 = 56\ 000$ bps dataa ja 8000 bps signallointi-
infoa
- kehys:
 - $24 * 8 = 192$ bittiä
 - + kehystysbitti: 01010101010101
 - $193 \text{ bittiä} / 125 \mu\text{s} \Rightarrow 1.544 \text{ Mbps}$

E1 (2.048 Mbps)

- 32 kanavaa
 - 32 näytettä a' 8 bittiä => 2.048 Mbps
 - 30 datakanavaa
 - 2 signaointikanavaa eli 16 bittiä/kehys
 - neljä kehystä => 64 bittiä signaointidataa
 - 32 bittiä kanavien signaointiin
 - 32 bittiä kehyssynkronointiin + maakohtaisiin tarpeisiin

- **runkolinjoja voidaan yhdistää edelleen**

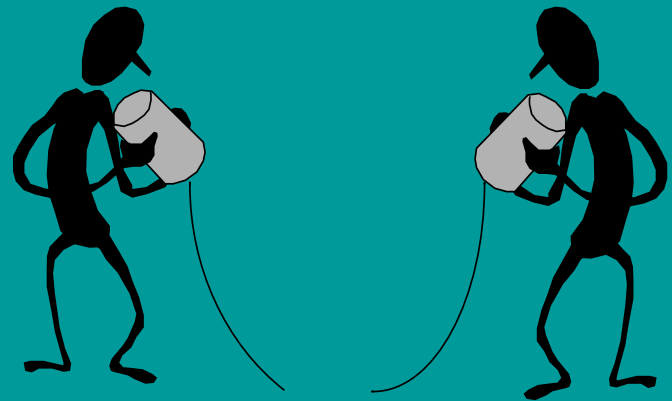
- 4 T1-linjaa \Rightarrow T2-linja (6.312 Mbps)
- 6 T2-linjaa \Rightarrow T3-linja (44.736 Mbps)
- 7 T3-linjaa \Rightarrow T4-linja (274.176 Mbps)
- joka yhdistämisellä lisätään bittejä kehystystä ja kehysvirheestä toipumista varten

- **useita erilaisia yhdistämistapoja**

- CCITT: yhdistetään jatkossa aina neljä joka kerralla
 - 32, 128, 512, 2048, 8192 kanavaa \Rightarrow 2.048 - 565.148

SONET/SDH

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



Tavoitteet

- **kaukopuhelun fyysisen kerroksen standardi**
 - operaattoreiden yhteistoiminta
 - aallonpituus, ajoitus, kehysrakenne, ...
 - PCM-kanavoinnin ‘yhtenäistäminen’
 - digitaalikanavien limitys runkolinjoihin
 - T3 =>
 - toiminnan, hallinnan ja ylläpidon tuki
 - OAM

-
-



- **TDM**

- yksi kanava, josta aikaviipaleita alikanaville

- **synkroninen**

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

- bitit lähetään kellon tahdissa

- **kehys**

- 810 tavua , 125 μ s välein (\sim PCM-näytteenottoa)

- lähetetään oli dataa tai ei

SONET-kehys

- **810 tavua =**
 - 9 riviä, jolla kullakin 90 saraketta**
 - kehyksen 3 ensimmäistä saraketta hallintaa varten
 - 87 saraketta käyttäjändataa =>
SPE (Synchronous Payload Envelope)
 - $87 * 9 * 8 * 8000 = 50.112 \text{ Mbps}$

SPE

- **kuljetushallinnon yksikkö**
- **alkaa mistä tahansa kohtaa kehystä**
 - Hallintatiedoissa osoitin alkuun
 - voi jatkua toiselle kehykselle
 - ei tarvitse odottaa kehyksen alkua
 - esim. atm-solukuorma sopii paremmin

Datavirtojen limitys

- **siirtonopeus**
 - $8 \times 810 = 6480$ bittiä \Rightarrow 51.84 Mbps \Rightarrow STS-1 (Synchronous Transport Signal-1) (OC-1 optisille)
- **limitys**
 - kolme STS-1 \Rightarrow STS-3
 - neljä STS-3 \Rightarrow STS-12
 - ... \Rightarrow STS-48

X.25

- pakettivälitystä virtuaalipiirien avulla puhelinverkossa
 - ensimmäinen julkinen pakettiverkko 80-luvun alussa
 - älykkyys verkossa => monimutkainen rakenne
- määrittelee liitännän tietokoneen ja pakettiverkon välille
 - fyysinen kerros
 - linkkikerros
 - pakettikerros
- vuonvalvonta ja virhevalvonta sekä linkki- että pakettikerroksella
 - raskasta
 - mutta puhelinverkko oli tuolloin hyvin virhealtis

Kehysvälitys (Frame Relay)

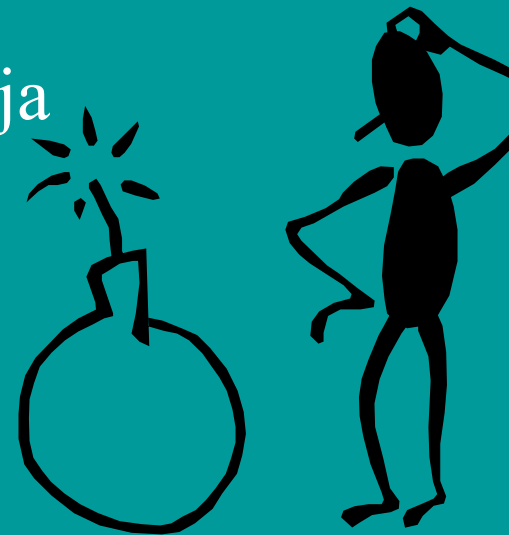
- **'toisen sukupolven X.25' 80-luvun lopussa**
 - virtuaalipiiri
 - tuskin ollenkaan virhevalvontaa, vuonvalvontaa
 - lähes virheettömiä valokuituyhteyksiä varten
 - virheelliset kylmästi hylätään
 - LAN-verkkojen väliseen liikenteeseen
 - taattu lähetysnopeus CIR (Committed information rate)
 - pienempi kuinlinjan maksiminopeus
 - palvelusta maksetaan halutun nopeuden mukaan
 - jos lähettää korkeintaan CIR-nopeudella, paketit ovat ykkösluokkaa, jos suuremmalla nopeudella paketit merkitään kakkosluokan paketeiksi, jotka tarvittaessa saa hävittää

ISDN (Integrated services Digital Network)

- **Telelaitosten hyvin suurisuuntainen hanke**
 - 70- ja varsinkin 80-luvulla: IDN => 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

ATM (B-ISDN, Broadband ISDN)

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

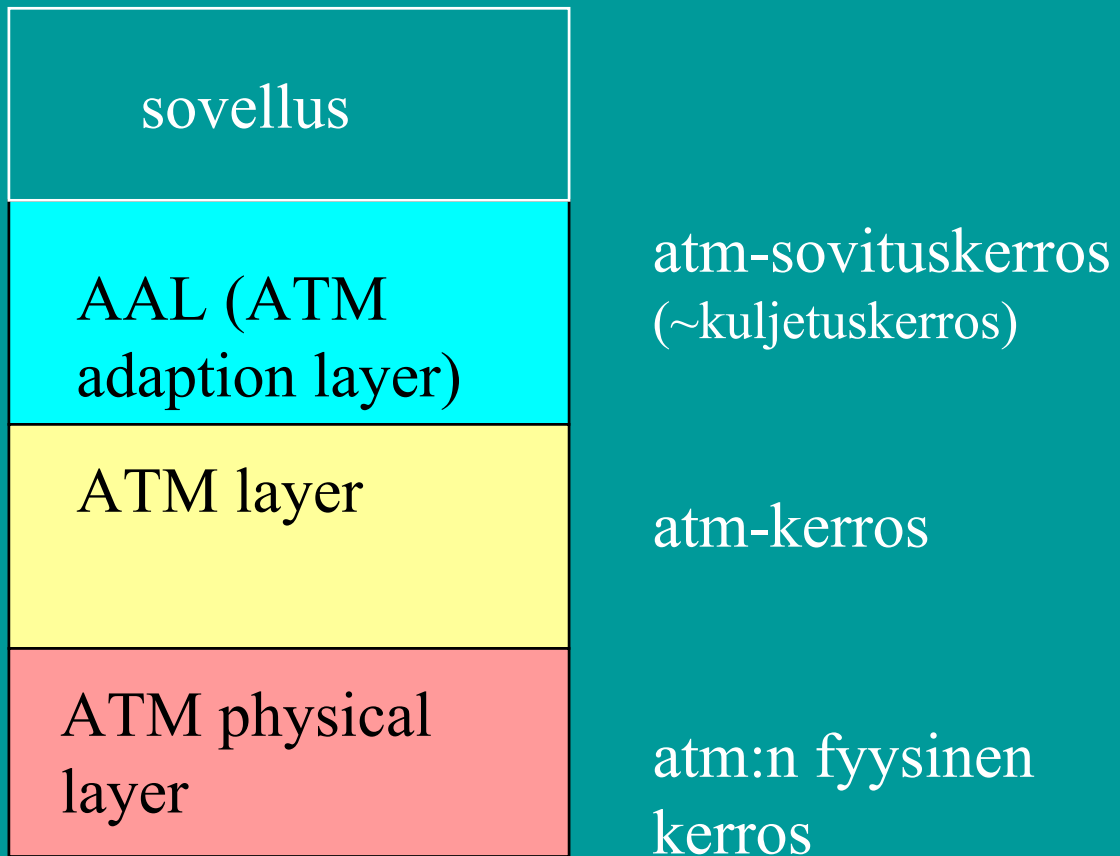


Atm

- ITU ja ATM Forum kehittivät atm-standardeja 80-luvun puolivälistä lähtien
 - pakettivälitystä virtuaalipiirissä
 - erilaista palvelua erityyppisten sovellusten tarpeisiin
 - pieni paketti eli solun koko = 48 tavua + 5 tavun otsake
 - käytetään paljon puhelinverkoissa ja Internetin runkolinjoissa
 - IP-over-ATM
 - ei niinkään lähiverkoissa
 - ATM LAN

Atm on yhteydellinen

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



Atm:n kolme kerrosta

Atm:n fyysinen kerros

- **Kaksi alikerrosta**
 - TC (transmission convergence sublayer)
 - muuttaa atm-solut fyysisen median haluamaan muotoon ja päinvastoin
 - generoi atm-solun HEC-tarkistuksen ja vastaanotossa tarkistaa sen
 - vastaanotossa etsii solurajan HEC-bittien avulla, jos ei ole kehystä
 - On riipuvainen käytetystä siirtomediasta
 - PMD(Physical medium dependent sublayer)
 - lähettää bitit käytettyyn siirtomediaan
 - valokuitu, kupari, ...
 - ottaa huomioon lähetystavan vaatiman bittisynkronoinnin
 - SONET/SDH, T1/T3, OC-1, -3, -12..
 - Lähetykset, joissa tahdistus on signaalin koodauksessa
 - Ei tiedä mitään soluista

Atm-kerros

- **ei käytetä kuittauksia eikä uudelleenlähetystä**
 - tarkoitettu luotettaville valokaapeliverkoille
 - yhden tai muutaman bitin virheen korjaus tarkistussumman avulla
 - tosiaikainen liikenne
- **otsakkeen tarkistus**
 - HEC

Solun otsake



VPI Virtual Path Identifier

VCI Virtual Channel Identification

PT Payload Type

CLP Cell Loss Priority

HEC Header Error Check

-
-



- **CLP**

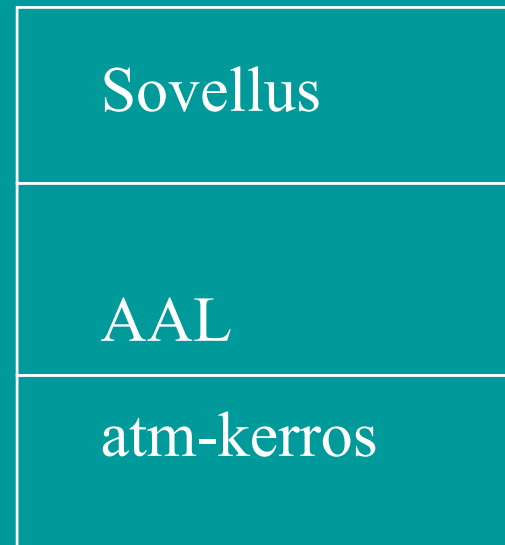
- tärkeä tai vähemmän tärkeä solu
- ruuhkan sattuessa hävitetään ensin vähemmän tärkeät

- **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 toimimaan atm-kerroksen päällä (esim. video ja ääni)**
 - IP-reitittimien välissä
 - isäntäkoneiden välissä



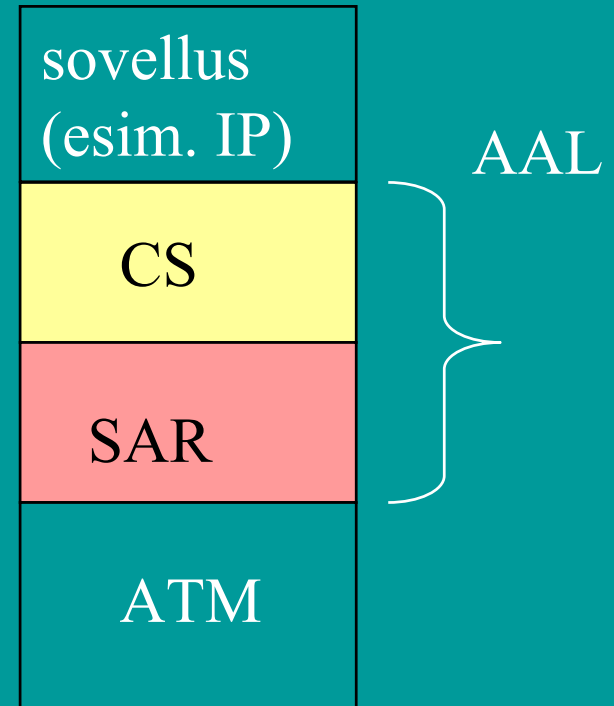
AAL-kerroksen rakenne

Kaksi alikerrosta:

CS (Convergence sublayer)

SAR (Segmentation and reassembly sublayer)

Näillä omat PDU:nsa

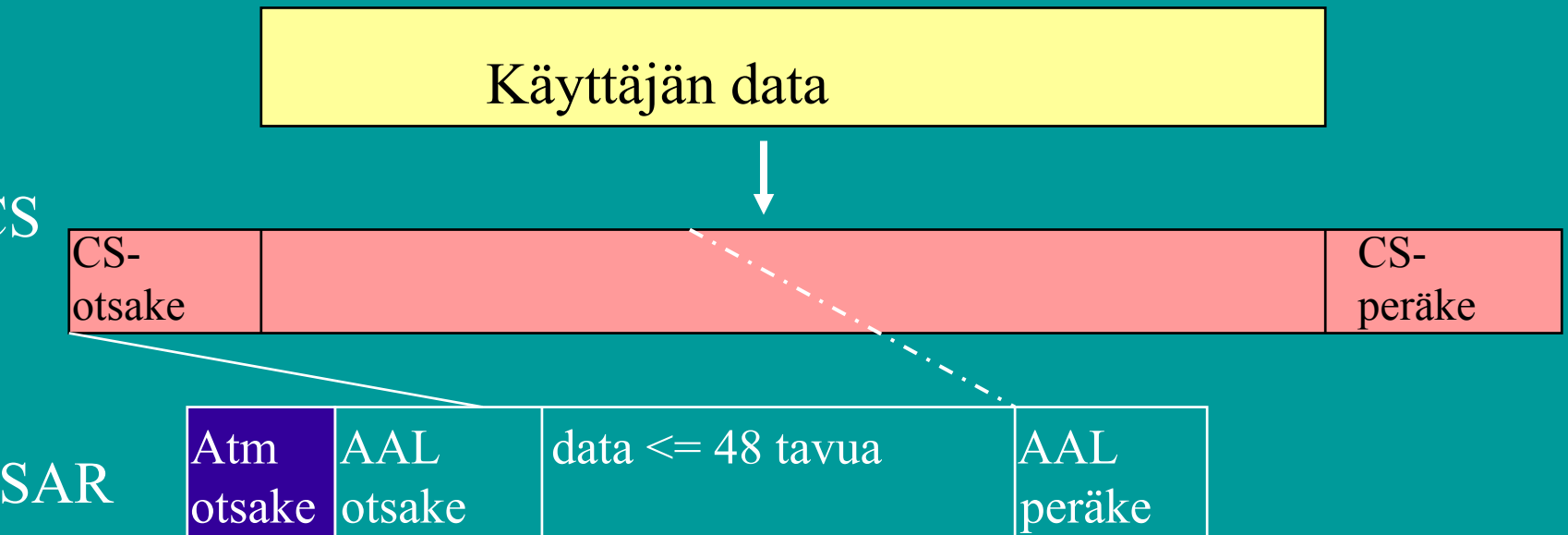


Palveluluokat

- **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)**



Ruuhkan valvonta

- **ruuhka on ongelmallista**
 - suuret nopeudet
 - suuret linjojen määrät kytkimissä
- **pitkäkestoinen ruuhka**
 - liian paljon liikennettä
- **lyhytkestoinen ruuhka**
 - liikenne purskeista

Ruuhkan valvontamenetelmät

- **atm-verkossa ruuhka pyritään estämään**
 - erittäin nopea verkko
 - tosiaikainen liikenne
- **pääsyvalvonta (admission control)**
 - hyväksytään vain jos ei haittaa muita
 - reiluus
- **resurssien varaus (resource reservation)**
 - varataan kaikki resurssit etukäteen
 - SETUP-paketti varaa linjakapasiteettia edetessään
 - varaukset keskimääräiselle vai huippukuormalle?

Liikenteen tasoitus (Traffic shaping)

- **GCRA (Generic Cell Rate Algorithm)**
 - tarkistaa joka solusta, onko se sovittujen liikenneparametrien mukainen
 - kaksi parametria
 - PCR maksimi saapumisnopeus
 - $T = 1/PCR$ minimi solujen välinen aika
 - CDVT hyväksyty viipeen vaihtelu
 - solu ei ole parametrien mukainen, jos se saapuu liian pian edellisen jälkeen
 - hylätään / merkitään tarvittaessa poistettavaksi

ABR-liikenteen ruuhkan valvonta

- **ruuhkatilanteen sattuessa**
 - CBR- ja VBR-liikennettä ei voi hidastaa
 - UBR-liikenne voidaan kokonaan lopettaa
 - vain **ABR-liikennettä voidaan hidastaa**
 - vain ABR-käyttäjiä pyydettyä hidastamaan
- **ruuhkan valvonta perustuu lähetysnopeuden pienentämiseen ruuhkatilanteessa (rate-based congestion control)**

RM-solu

- aina tietyin välein (k solun välein) lähettäjä lisää datavirtaan RM-solun (resource management)
- RM-solu kulkee samaa polkua kuin datasolut, mutta kytkimet käsittelevät sitä eri tavalla
- kohteeseen saapunut RM-solu tutkitaan, päivitetään ja palautetaan takaisin lähettäjälle

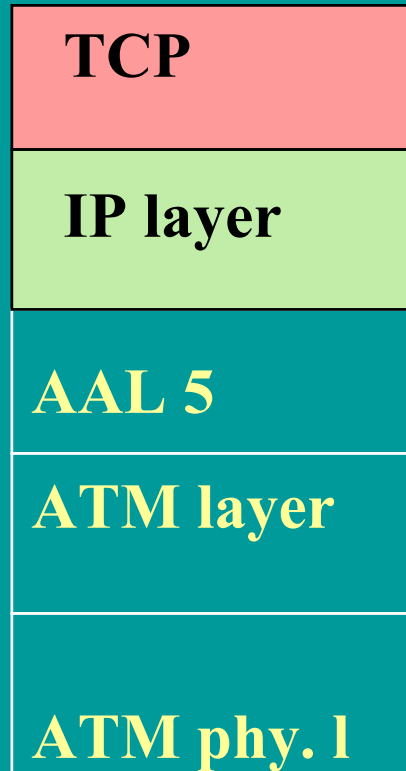
- **ylikuormitetut kytkimet voivat myös itse ilmoittaa ruuhkasta**
 - lähettämällä RM-solun lähettäjälle
 - asettaa vastaanottajalle menevässä solussa PTI-kentän bitin
 - nämä solut voivat kuitenkin kadota ruuhkassa
- **RM-solun lähettäjä huomaa aina, jos solu ei tule takaisin riittävän nopeasti**

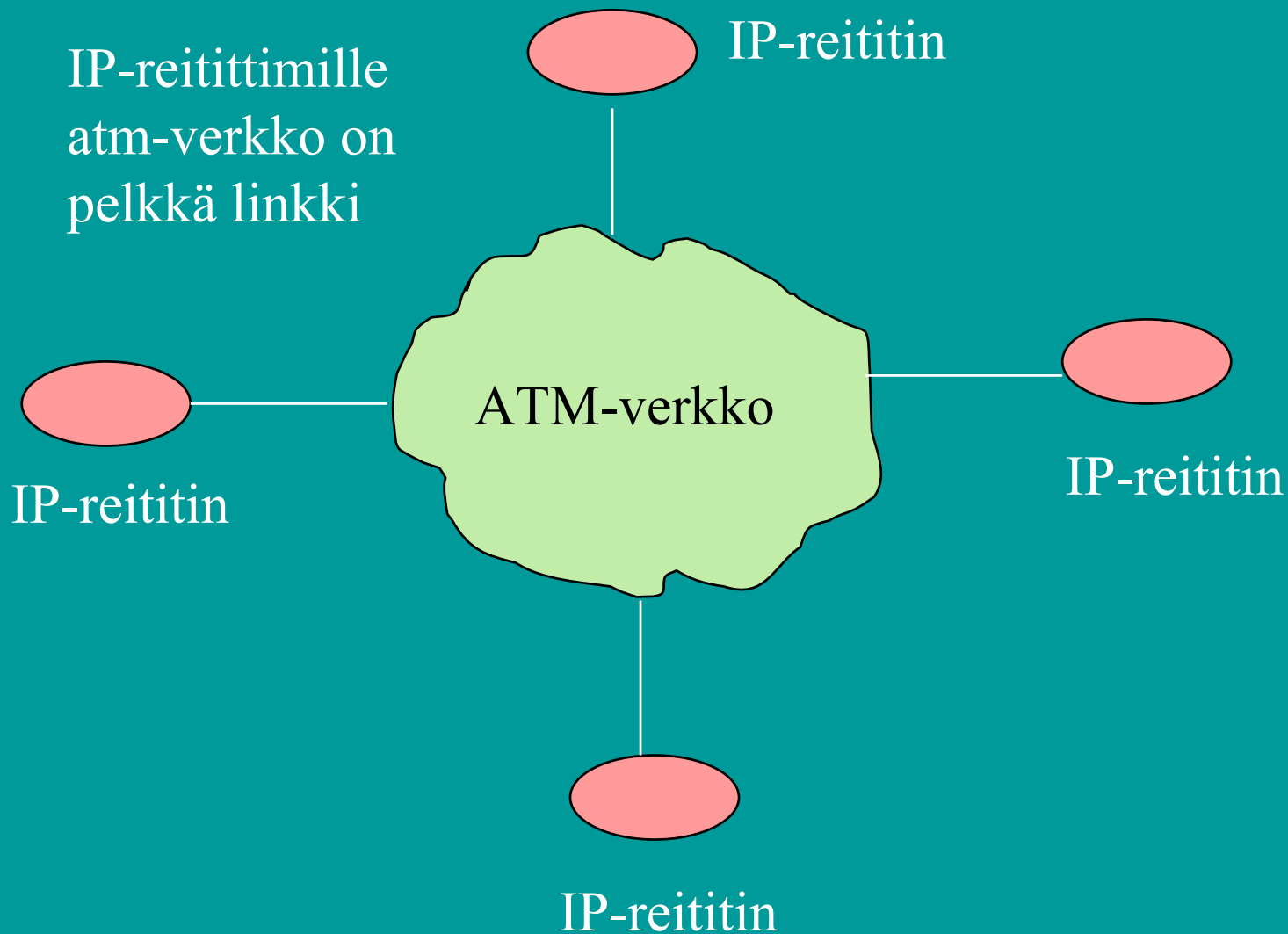
- **nykyinen lähetysnopeus (ACR)**
 - $MCR < ACR < PCR$
- **jos ruuhkaa lähetysnopeutta pienennetään**
 - ei kuitenkaan pienemmäksi kuin miniminopeus
- **jos ei ruuhkaa lähetysnopeutta kasvatetaan**
 - ei kuitenkaan suuremmaksi kuin maksiminopeus
- **lähetetyssä RM-solussa on lähettäjän toivoma lähetysnopeus (ER)**
- **kytkimet tarvittaessa muuttavat nopeuden pienemmäksi**
- **kun RM-solu palaa lähettäjälle, lähettäjä muuttaa tarvittaessa lähetysnopeuttaan**

Atm

- **toiminnallisesti atm-kerros vastaa verkkokerrosta**
 - solujen siirto lähettäjältä vastaanottajalle
 - reititys
 - globaali osoittaminen
 - samankaltainen kuin X.25:n 3 kerros
- **Internet-maailma pitää linkkikerroksena**
 - IP-over-atm
 - Kaikki muut verkot ovat linkkikerrosta!

IP-over-ATM





atm

- **asynkroninen**
 - atm: kukin lähde voi lähettää milloin tarvetta
 - vrt. T1: kello, yksi tavu joka lähteestä
- **solujen kuljetustapa vapaa**
 - soluja voidaan siirtää eri tavoilla: T1, SONET,..
- **siirtomedia**
 - yleensä kuitu
 - kierretty pari (categoria 5),
 - kaapeli (< 100m)

atm-kytkin

- **tavoitteet**
 - soluja hylätään harvoin (10^{*-12})
 - järjestys säilyy
 - virtuaalipiiri
- **kytkimeen soluja 150 Mbps**
 - 360 000 solua sekunnissa
 - kytkimen kierrosaika 2.7 μ s
 - sisääntuloja 16-1024
- **terabittikytkimiä**