

## Laajaverkot (WAN)

### Puhelinverkko

kanavointi

### X.25, Frame Relay

### Atm-verkko

10/24/2002

1

## 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

10/24/2002

2

## 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  $\gg$  4000Hz
  - rajoitus johtuu vain puhelintekniikasta
- **useita hieman erilaisia ratkaisuja**
  - ADSL
  - SDSL
  - HDSL
  - VDSL

10/24/2002

7

## 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)

10/24/2002

8

## DMT (Discrete multitone)

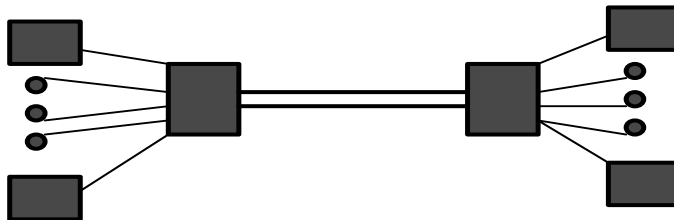
- **jaetaan kaista alikanaviin (ANSI T1.413):**
  - 256 kappaletta 4 KHz:n alikanavaa,
    - 32 kaksisuuntaista => lähettävät myös ylävirtaan
  - kullakin kanavalla oma QAM-modeemi
    - vaihtelevat bittinopeudet eri kanavilla 0-16 bpHz
      - signallointi sovitettu eri taajuuksien ominaisuuksiin
 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

10/24/2002

9

## Kanavointi (multiplexing)

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



10/24/2002

10

## 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 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

○  
○  
○

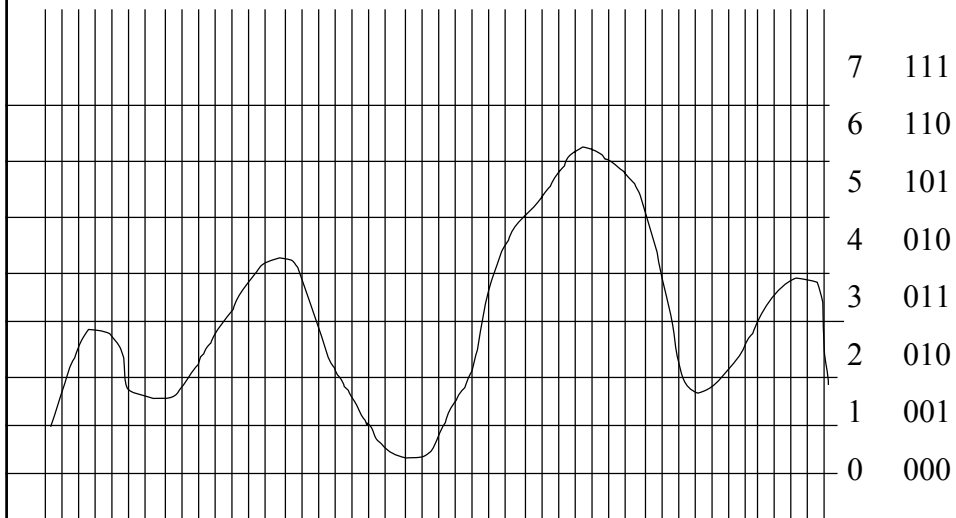
# PCM (Pulse Code Modulation)

- **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) bittijä.

10/24/2002

15

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**
    - $7 \cdot 8000 = 56\,000$  bps dataa ja 8000 bps signaalointi-  
infoa
- **kehys:**
  - $24 \cdot 8 = 192$  bittiä
  - + kehystysbitti: 010101010101 ....
  - $193 \text{ bittiä} / 125 \mu\text{s} \Rightarrow 1.544 \text{ Mbps}$

## E1 (2.048 Mbps)

- 32 kanavaa
  - 32 näytettä a' 8 bittiä  $\Rightarrow 2.048 \text{ Mbps}$
  - 30 datakanavaa
  - 2 signaalointikanavaa eli 16 bittiä/kehys
    - neljä kehystä  $\Rightarrow 64$  bittiä signaalointidataa
    - 32 bittiä kanavien signaalointiin
    - 32 bittiä kehysynkronointiin + maakohtaisiin tarpeisiin

## • **runkolinjoja voidaan yhdistää edelleen**

- 4 T1-linjaa => T2-linja (6.312 Mbps)
- 6 T2-linjaa => T3-linja (44.736 Mbps)
- 7 T3-linjaa => 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 => 2.048 - 565.148 Mbps

## SONET/SDH

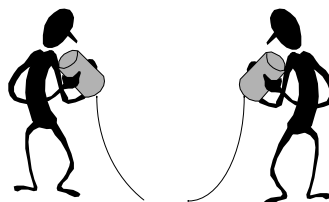
### • **SONET (Synchronous Optical NETWORK)**

- Bellcore

### • **SDH (Synchronous Digital Hierarchy)**

- ITU-T
- eroaa vain hyvin vähän

### • **korvaamaan eri tahoilla kehitetyt optiset TDM-käytännöt**



# Tavoitteet

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

10/24/2002

21

## • TDM

- yksi kanava, josta aikaviipaleita alikanaville

## • synkroninen

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

## • kehys

- 810 tavua , 125  $\mu$ s välein (~ PCM-näytteenottoa)
- lähetetään oli dataa tai ei

10/24/2002

22

## SONET-kehys

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

10/24/2002

23

## 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

10/24/2002

24

## 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

10/24/2002

25

## X.25

- pakettivälitystä virtuaalipiirien avulla puhelinverkossa
  - ensimmäinen julkinen pakettiverkko 80-luvun alussa
  - älykkyys verkossa  $\Rightarrow$  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 virheettis

10/24/2002

26

## 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 lähetyksenopeus CIR (Committed information rate)
    - pienempi kuin linjan 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

10/24/2002

27

## ISDN (Integrated services Digital Network)

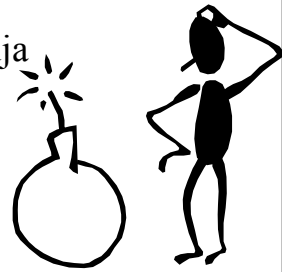
- **Telelaitosten hyvin suurisuuntainen hanke**
  - 70- ja varsinkin 80-luvulla: IDN => ISDN
  - yhdistää ääni- ja datapalvelut
  - evolutionäärinen kehitys
    - N-ISDN (Narrowband ISDN) => mm. Frame Relay
      - 64 Kbps
    - B-ISDN => **atm** (asynchronous transfer mode)
  - Internet-käyttö
    -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

10/24/2002

28

## ATM (B-ISDN, Broadband ISDN)

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



10/24/2002

29

## Atm

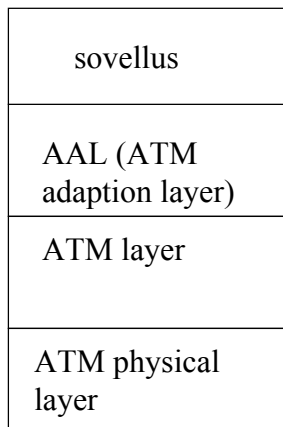
- **ITU ja ATM Forum kehittivät atm-standardeja 80-luvun puolivälistä lähtien**
  - pakettivälitystä virtuaalipiirissä
  - erilaista palvelua erityyppisten sovellusten tarpeisiin
    - pieni paketin eli solun koko = 48 tavua + 5 tavun otsake
  - käytetään paljon puhelinverkoissa ja Internetin runkolinjoissa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

10/24/2002

30

# 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-sovituseros  
(~kuljetuseros)

atm-kerros

atm:n fyysinen  
kerros

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

10/24/2002

33

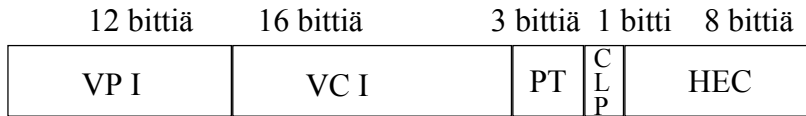
# Atm-kerros

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

10/24/2002

34

# 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

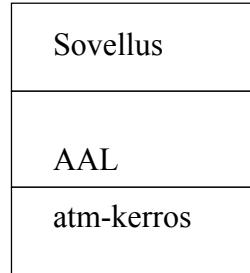
- **HEC**

- 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



10/24/2002

37

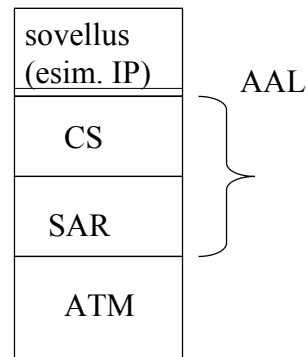
# AAL-kerroksen rakenne

Kaksi alikerrosta:

CS (Convergence sublayer)

SAR (Segmentation and reassembly sublayer)

Näillä omat PDU:nsa



10/24/2002

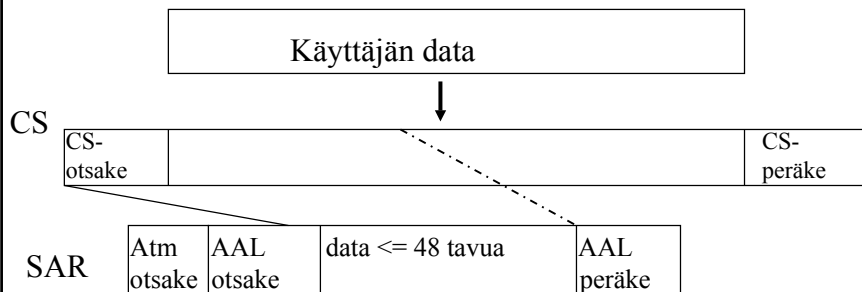
38

## 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**

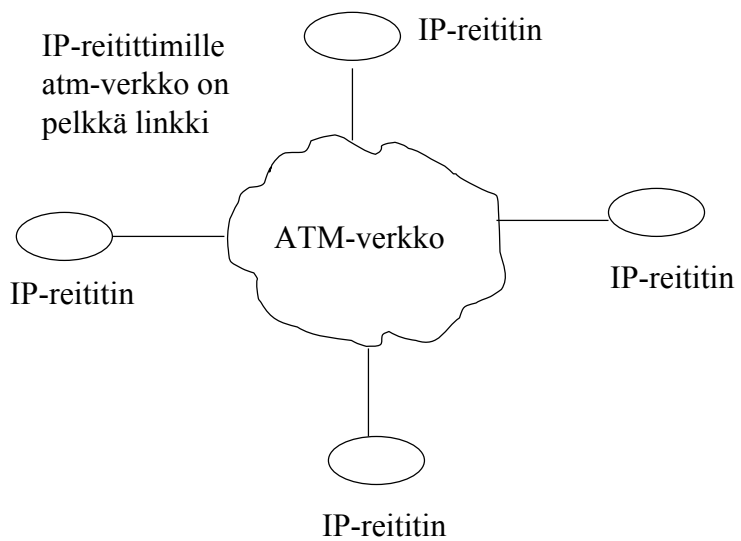
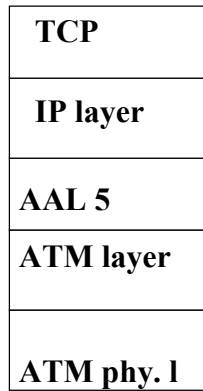
- **nykyinen lähetysnopeus (ACR)**
  - $MCR < ACR < PCR$
- **jos ruuhkaa lähetysnopeutta pienennetään**
  - ei kuitenkaan pienemmäksi kuin miniminopeus
- **jos ei ruuhkaa lähetysnopeutta kasvatetaan**
  - ei kuitenkaan suuremmaksi kuin maksiminopeus
- **lähetetyssä RM-solussa on lähettäjän toivoma lähetysnopeus (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  $\mu$ s
  - sisääntuloja 16-1024
- **terabittikytkimiä**