

- o
- o
- o

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

28.11.2001

1

- o
- o
- o

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

28.11.2001

2

- o
- o
- o

Digitaalisen signaloinnin edut

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

28.11.2001

3

- o
- o
- o

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**

28.11.2001

4

- o
- o
- o

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."

28.11.2001

5

- o
- o
- o

xDSL-modeemit

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

28.11.2001

6

- o
- o
- o

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)

28.11.2001

7

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

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

28.11.2001

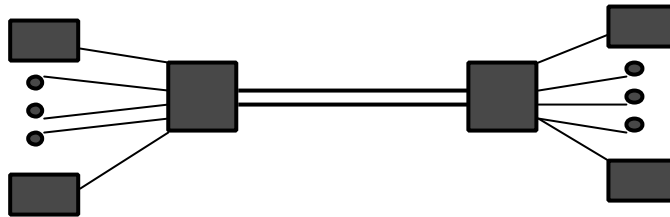
8

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

Kanavointi (multiplexing)

- **Kanavointi (tai limitys)**

- runkolinja yhteiskäytössä



28.11.2001

9

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

28.11.2001

10

- o
- o
- o

Taajuusjakokanavointi

- o
- o
- o

- **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

28.11.2001

11

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- o
- o
- o

- **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

28.11.2001

12

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

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

28.11.2001

13

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

PCM (Pulse Code Modulation)

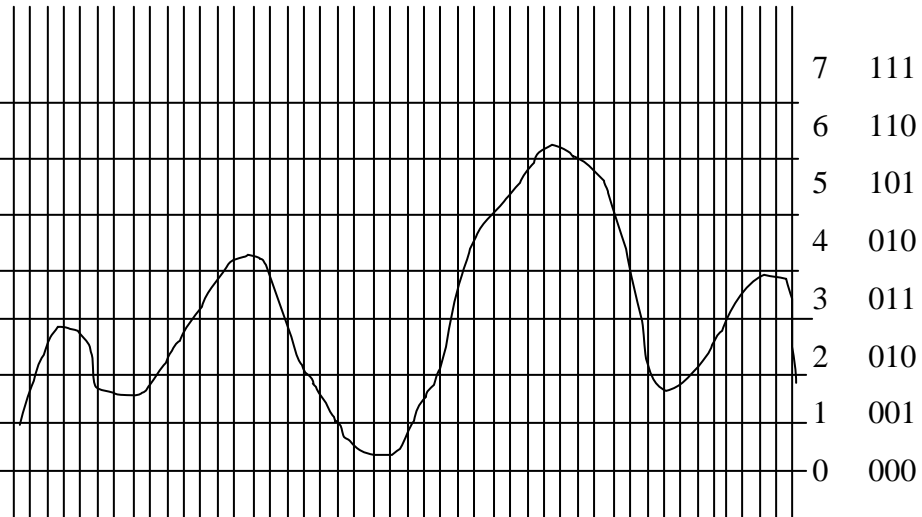
- **Tekniikka analogisen signaalin digitalisointiin**
 - nykyaikaisen puhelinjärjestelmän 'peruspalikka'
 - useita erilaisia versioita käytössä
 - USA, Japani: T1 carrier -tekniikka
 - ITU-T (CCITT)
 - otetaan anal. signaalista näytteitä, joiden arvo esitetään kiinteällä määrällä (usein 8) bittejä.

28.11.2001

14

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

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 signaalointi-
infoa
- kehys:
 - $24 * 8 = 192$ bittiä
 - + kehystysbitti: 010101010101
 - $193 \text{ bittiä} / 125 \mu\text{s} \Rightarrow 1.544 \text{ Mbps}$

CCITT PCM

- **vähemmän signalontia,**
 - 8 bittiä dataa,
 - common channel signaling
 - kehysbitti: 101010101010 ... parittomissa kehyksissä
 - channel associated signaling
 - kullakin kanavalla oma signalointi alikanava
 - yksi bitti joka kuudennesta kehyksestä

28.11.2001

17

E1 (2.048 Mbps)

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

28.11.2001

18

- o
- o
- o

- **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

28.11.2001

Mbps

19



- o
- o
- o

SONET/SDH

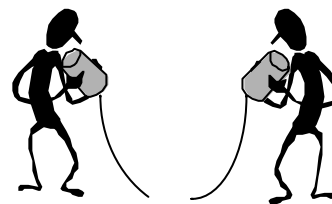
- **SONET (Synchronous Optical NETWORK)**

- Bellcore

- **SDH (Synchronous Digital Hierarchy)**

- ITU-T
- eroaa vain hyvin vähän

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



28.11.2001

20



- o
- o
- o

Tavoitteet

- **kaukopuhelun fyysisen kerroksen standardi**

- operaattoreiden yhteistoiminta
 - aallonpituus, ajoitus, kehysrakenne, ...
- PCM-kanavoinnin 'yhtenäistäminen'
- digitaalikanavien limitys runkolinjoihin
 - T3 =>
- toiminnan, hallinnan ja ylläpidon tuki
 - OAM

28.11.2001

21

- o
- o
- o

Tavoitteet

- **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 (~ PCM-näytteenottoa)
- lähetetään oli dataa tai ei

28.11.2001

22

SONET-kehys

- **810 tavua =**
 - 9 riviä, jolla kullakin 90 saraketta**
 - kehyksen 3 ensimmäistä saraketta hallintaa varten
 - kolmella ensimmäisellä rivillä ‘section overhead’
 - kuudella viimeisellä ‘line overhead’
 - 87 saraketta käyttäjändataa =>
SPE (Synchronous Payload Envelope)
 - $87 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 8000 = 50.112 \text{ Mbps}$

28.11.2001

23

SPE

- **kuljetushallinnon yksikkö**
- **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
- **SPE:n 1. sarake ‘path overhead’**

28.11.2001

24

Datavirtojen limitys

- **siirtonopeus**

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

- **limitys**

- kolme STS-1 \Rightarrow STS-3
- neljä STS-3 \Rightarrow STS-12
- ... \Rightarrow STS-48

28.11.2001

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 virheettö-

28.11.2001

26

Kehyvälyitys (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 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

28.11.2001

27

ISDN (Integrated services Digital Network)

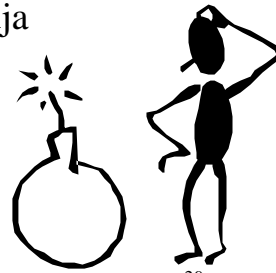
- **Telelaitosten hyvin suurisuuntainen hanke**
 - 70- ja varsinkin 80-luvulla: IDN => ISDN
 - yhdistää ääni- ja datapalvelut
 - evolutionäärinen kehitys
 - N-ISDN (Narrowband ISDN) => mm. Frame Relay
 - 64 Kbps
 - B-ISDN => **atm** (asynchronous transfer mode)
 - Internet-käyttö
 - 2B+D => 144 Kbps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

28.11.2001

28

B-ISDN (Broadband ISDN)

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



28.11.2001

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

28.11.2001

30

o
o
o

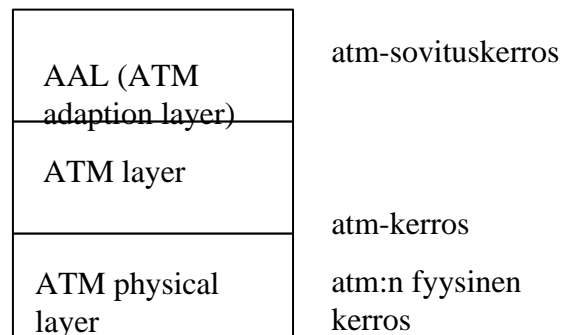
Atm on yhteydellinen

- **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

28.11.2001

31

o o o o o o o o



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
- PMD(Physical medium dependent sublayer)
 - lähettää bitit käytettyyn siirtomediaan
 - valokuitu, kupari, ...
 - ottaa huomioon lähetystavan vaatiman bittisynkronoinnin
 - SONET, T1, ..
 - Lähetykset, joissa tahdistus on signaalin koodauksessa

28.11.2001

33

Atm-kerros

- **ei käytetä kuittauksia eikä uudelleenlähettyksiä**

- tarkoitettu luotettaville valokaapeliverkoille
- yhden tai muutaman bitin virheen korjaus tarkistussumman avulla
- tosiaikainen liikenne

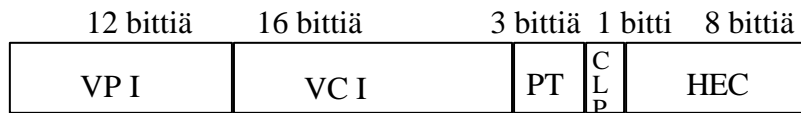
- **otsakkeen tarkistus**

- HEC

28.11.2001

34

Solun otsake



VPI Virtual Path Identifier
VCI Virtual Channel Identification
PT Payload Type
CLP Cell Loss Priority
HEC Header Error Check

28.11.2001

35

• 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

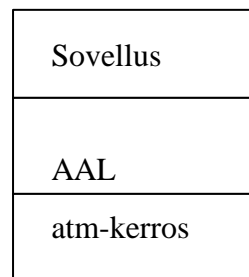
28.11.2001

36

AAL-kerros

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

- IP-reitittimien välissä
- isäntäkoneiden välissä



28.11.2001

37

Palveluluokat

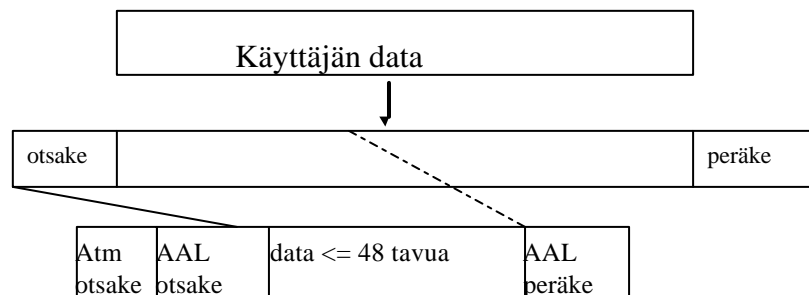
- **CBR constant bit rate**
 - T1- piiri, ~sähköjohto
- **RT-VBR variable bit rate, real time**
 - videokonferenssi
- **NRT-VBR variable bit rate, non-real time**
 - multimedia sähköposti
- **ABR available bit rate**
 - selailu www-verkossa
- **UBR unspecified bit rate**
 - tiedonsiirto tausta-ajona,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

28.11.2001

38

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

- o
- o
- o

Ruuhkan valvontamenetelmät

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

28.11.2001

41

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

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

28.11.2001

42

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

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)**

28.11.2001

43

- o
- o
- o

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**

28.11.2001

44

- o
- o
- o

- **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**

28.11.2001

45

- **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**

o
o
o

Atm

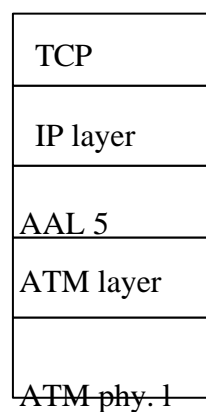
- **toiminnallisesti atm-kerros vastaa verkkokerrosta**
 - solujen siirto lähettäjältä vastaanottajalle
 - reititys
 - globaali osoittaminen
 - samankaltainen kuin X.25:n 3 kerros
- **Internet-maailma pitää linkkikerroksena**
 - IP-over-atm
 - Kaikki muut verkot ovat linkkikerrosta!

28.11.2001

47

o o o o o o o o

IP-over-ATM



- o
- o
- o

atm

- o
- o
- o

- **asynkroninen**

- atm: kukin lähde voi lähettää milloin tarvetta
 - vrt. T1: kello, yksi tavu joka lähteestä

- o
- o
- o

- **solujen kuljetustapa vapaa**

- soluja voidaan siirtää eri tavoilla: T1, SONET,..

- o
- o
- o

- **siirtomedia**

- yleensä kuitu
- kierretty pari (categoria 5),
- kaapeli (< 100m)

28.11.2001

49

- o
- o
- o

atm-kytkin

- o
- o
- o

- **tavoitteet**

- soluja hylätään harvoin (10^{*-12})
- järjestys säilyy
 - virtuaalipiiri

- o
- o
- o

- **kytkimeen soluja 150 Mbps**

- 360 000 solua sekunnissa
- kytkimen kierrosaika 2.7 μ s
- sisääntuloja 16-1024

28.11.2001

50