

## 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

10/24/2002

3

## Digitaalisen signaloinnin edut

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

10/24/2002

4

## 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

10/24/2002

5

## 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."

10/24/2002

6

## xDSL-modeemit

- **digitaalinen paikallissilmukka**  
(Digital Subscriber Loop)
  - kierretyn parin kaistanleveys >> 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)

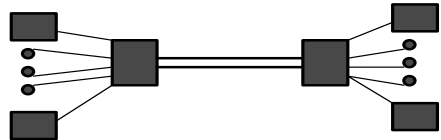
- **jaetaan kaista alikanaviin (ANSI T1.413):**
  - 256 kappaletta 4 KHz:n alikanavaa,
    - 32 kaksisuuntaista => lähettävät myös ylävirtaan
  - kullakin kanavalla oma QAM-modeemi
    - vaihtelevat bittinopeudet eri kanavilla 0-16 bpHz
    - signaalointi sovitettu eri taajuuksien ominaisuuksiin
  - siirrettävän sanoman bitit jaetaan eri kanaville kanavien laadun (~SNR) perusteella
    - lähetykanavan 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

10/24/2002

11

## 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

10/24/2002

12

## 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 => terabitinopeuksia

10/24/2002

13

## Aikajakokanavointi TDM

### • digitaalikanavan yhteiskäyttö

- FDM: vain analogisille linjoille

### • TDM vain digitaaliselle datalle

- puhelinverkossa
  - 'local loop' analoginen
  - runkolinjat digitaalisia
- tarvitaan muunnos analogisesta digitaaliseen

10/24/2002

14

## PCM (Pulse Code Modulation)

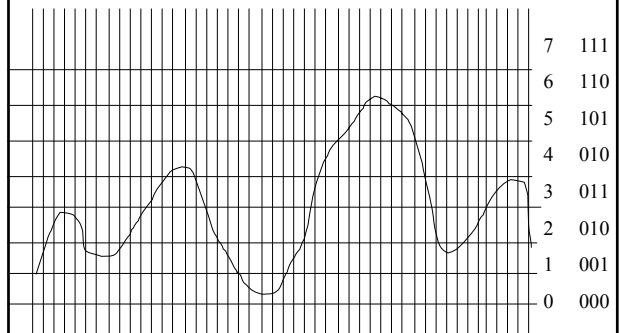
### • Tekniikka analogisen signaalin digitalisointiin

- 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 bittia



Näytteitä tarpeeksi tiuhaan  
(Nyquist:  $2 \cdot$  maksimitaajuus)

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

## T1 Carrier

### • 24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen

- näyte = 8 bittia, joista yksi pariteettibitti
  - $7 \cdot 8000 = 56\,000$  bps dataa ja 8000 bps signaalointi-  
infoa
- kehys:
  - $24 \cdot 8 = 192$  bittia
  - + kehystysbitti: 010101010101 ....
  - 193 bittia/125  $\mu\text{s}$  => 1.544 Mbps

10/24/2002

17

## E1 (2.048 Mbps)

### • 32 kanavaa

- 32 näytettä a' 8 bittia => 2.048 Mbps
- 30 datakanavaa
- 2 signaalintikanavaa eli 16 bittia/kehys
  - neljä kehystä => 64 bittia signaalintidataa
  - 32 bittia kanavien signaalointiin
  - 32 bittia kehysynkronointiin + maakohtaisiin tarpeisiin

10/24/2002

18

- **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**

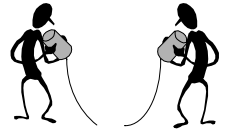
- CCITT: yhdistetään jatkossa aina neljä joka kerralla
  - 32, 128, 512, 2048, 8192 kanavaa => 2.048 - 565.148 Mbps

10/24/2002

19

## SONET/SDH

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



10/24/2002

20

## 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 lähetetään kellon tahdissa

- **kehys**

- 810 tavua, 125  $\mu$ s välein ( $\sim$  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)
  - $87*9*8*8000 = 50.112$  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**
  - $8 \times 810 = 6480$  bittia  $\Rightarrow 51.84$  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 virheettinen

10/24/2002

26

## Kehykvälitys (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)

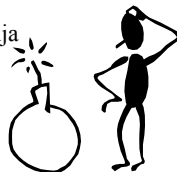
- **Telelaitosten hyvin suurisuuntainen hanke**
  - 70- ja varsinkin 80-luvulla: IDN  $\Rightarrow$  ISDN
  - yhdistää ääni- ja datapalvelut
  - evolutionäärinen kehitys
    - N-ISDN (Narrowband ISDN)  $\Rightarrow$  mm. Frame Relay
      - 64 Kbps
    - B-ISDN  $\Rightarrow$  atm (asynchronous transfer mode)
  - Internet-käyttö
    - 2B+D  $\Rightarrow$  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 paketti 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

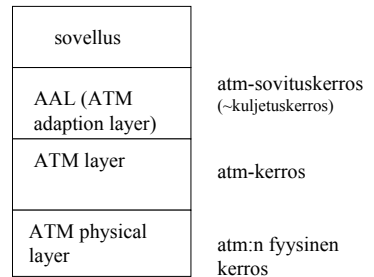
30

## 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

10/24/2002

31



Atm:n kolme kerrosta

## Atm:n fyysinen keros

- **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-keros

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

10/24/2002

34

## Solun otsake

12 bittiä	16 bittiä	3 bittiä	1 bitti	8 bittiä
VP I	VC I	PT	CLP	HEC

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

10/24/2002

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

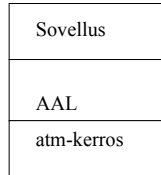
10/24/2002

36

## 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

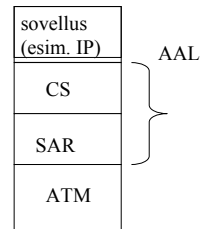
## AAL-kerroksen rakenne

Kaksi alikerrosta:

CS (Convergence sublayer)

SAR (Segmentation and reassembly sublayer)

Näillä omat PDU:nsa



10/24/2002

38

## Palveluluokat

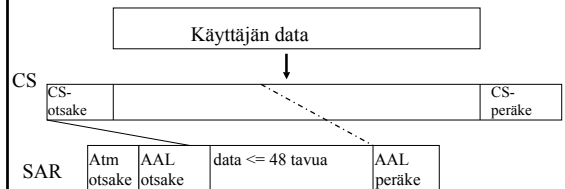
- **CBR constant bit rate**
  - T1- piiri, ~sähköjohto
- **RT-VBR variable bit rate, real time**
  - videokonferenssi
- **NRT-VBR variable bit rate, non-real time**
  - multimedia sähköposti
- **ABR available bit rate**
  - selailu www-verkossa
- **UBR unspecified bit rate**
  - tiedonsiirto tausta-ajona,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

10/24/2002

39

## 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 pusrkeista

10/24/2002

41

## 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 huippuormalle?

10/24/2002

42

## 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 hyväksytyt viipeen vaihtelu
- solu ei ole parametrien mukainen, jos se saapuu liian pian edellisen jälkeen
  - hylätään / merkitään tarvittaessa poistettavaksi

10/24/2002

43

## 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-käyttäjää pyydettyä hidastamaan

### • ruuhkan valvonta perustuu lähetysnopeuden pienentämiseen ruuhkatilanteessa (rate-based congestion control)

10/24/2002

44

## 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

10/24/2002

45

### • 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

10/24/2002

46

- 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!

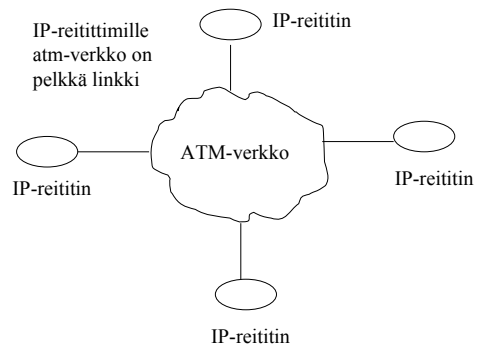
10/24/2002

48



# IP-over-ATM

TCP
IP layer
AAL 5
ATM layer
ATM phy. 1



## 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)

10/24/2002

51

## 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

10/24/2002

52