

## Puhelinjärjestelmä

- Olemassa oleva infrastruktuuri 'tiedon' kuljetukseen
- ongelma
  - äänenkuljetusteknologian sopivuus tietokoneiden väliseen kommunikointiin
    - datalinja 10<sup>7</sup>-10<sup>9</sup> bps, BER ~ 10<sup>-12</sup>
    - puhelin 10<sup>5</sup> bps, BER ~ 10<sup>-5</sup> (?)
    - vrt. 1 km/t <-> 100 - 10000 km/t
    - MTBF 2.8 min <-> 53 vuotta

28.11.2001

1

## 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

## 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

## 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

## Modeemeja

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
  - 9600 bps 2400 baudin linjalla, 16 eri 'tasoa'
- V.32bis
  - 14 400 bps 2400 baudin linjalla, 64 tasoa => 6 bittia
- 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

## 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

## 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

## DMT (Discrete multitone)

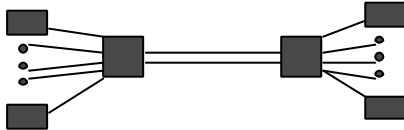
- **jaetaan kaista alikanaviin (ANSI T1.413):**
  - 256 kappaletta 4 KHz:n alikanavaa,
    - 32 kaksisuuntaista => lähetävät myös ylävirtaan
  - kullakin kanavalla oma QAM-modeemi
    - vaihtelevat bittinopeudet eri kanavilla 0-16 bpHz
    - signaalointi sovitettu eri taajuuksien ominaisuuksiin
  - siirrettävän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

28.11.2001

8

## 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

## 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

28.11.2001

## 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

28.11.2001

12

## 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

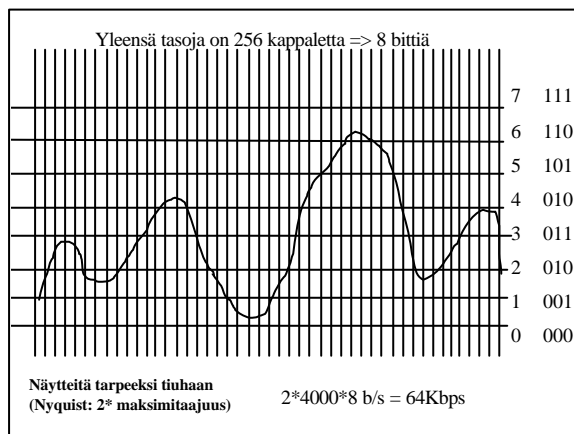
13

## 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



## 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 bittiä/125  $\mu\text{s}$  => 1.544 Mbps

28.11.2001

16

## CCITT PCM

- **vähemmän signalointia,**
  - 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 signaalintikanavaa eli 16 bittiä/kehys
  - neljä kehystä => 64 bittiä signaalintidataa
  - 32 bittiä kanavien signalointiin
  - 32 bittiä kehysynkronointiin + maakohtaisiin tarpeisiin

28.11.2001

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

28.11.2001

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



28.11.2001

20

## 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

### • 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

28.11.2001

22

## SONET-kehys

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

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 kehysen alkua
  - esim. atm-solukuorma sopii paremmin
- SPE:n 1. sarake 'path overhead'

28.11.2001

24

## Datavirtojen limitys

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

28.11.2001

25

## 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 virheettis

28.11.2001

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 lähetysopeus 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 suuruusuntainen 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
  - tilaajasilmutta (local loop)



28.11.2001

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

28.11.2001

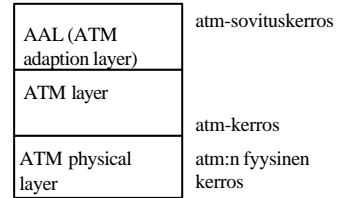
30

## 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

28.11.2001

31



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

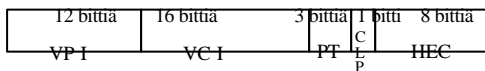
## Atm-kerros

- **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 % virheröpyistä
  - valokuidussa suurin osa virheistä yhden bitin virheitä

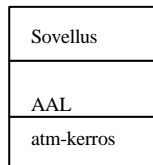
28.11.2001

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

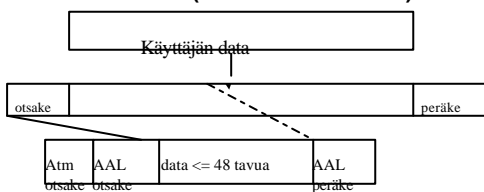
- CBR **constant bit rate**
  - T1- piiri, ~sähköjohto
- RT-VBR **variable bit rate, real time**
  - videokonferenssi
- NRT-VBR **variable bit rate, non-real time**
  - multimedia sähköposti
- ABR **available bit rate**
  - selailu www-verkossa
- UBR **unspecified bit rate**
  - tiedonsiirto tausta-ajona,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

28.11.2001

40

## 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

## Liikenteen tasoitus (Traffic shaping)

- GCRA (Generic Cell Rate Algorithm)
  - tarkistaa joka solusta, onko se sovitujen 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

## 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 lähetyksenopeuden pienentämiseen ruuhkatilanteessa (rate-based congestion control)**

28.11.2001

43

## 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 lähittäjälle

28.11.2001

44

- **ylikuormitetut kytkimet voivat myös itse ilmoittaa ruuhkasta**
  - lähettämällä RM-solun lähittäjälle
  - 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 lähetyksenopeus (ACR)**
  - $MCR < ACR < PCR$
- **jos ruuhkaa lähetyksenopeutta pienennetään**
  - ei kuitenkaan pienemmäksi kuin miniminopeus
- **jos ei ruuhkaa lähetyksenopeutta kasvatetaan**
  - ei kuitenkaan suuremmaksi kuin maksiminopeus
- **lähetyksessä RM-solussa on lähittäjän toivoma lähetyksenopeus (ER)**
- **kytkimet tarvittaessa muuttavat nopeuden pienemmäksi**
- **kun RM-solu palaa lähittäjälle, lähettäjä muuttaa tarvittaessa lähetyksenopeuttaan**

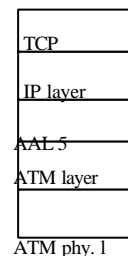
## Atm

- **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

## 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