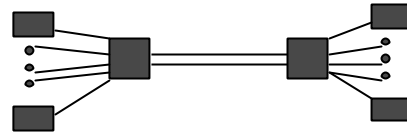


Laajaverkot (WAN)

- Puhelinverkko
 - runkolinjat
 - digitaalisia, kuitua
 - local loop
 - analoginen, kierretty pari
 - kanavointi

Kanavointi (multiplexing)

- Kanavointi (tai limitys)
 - runkolinja yhteiskäytössä



24.1.2001

61

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 bittiä / 125 ms \Rightarrow 1.544 Mbps

24.1.2001

62

- $T2 = 4 \cdot T1 + \text{tahdistusbitit} = 6.312$ Mbps
- $T3 = 6 \cdot T2 + \text{tahdistusbitit} = 44.736$ Mbps
- $T4 = 7 \cdot T3 + \text{tahdistusbitit} = 274.175$ Mbps
- $E1 = 2.048$ Mbps
 - 32 * 8 bittiä dataa, joista 30 dataa varten ja 2 signaalointiin
- $E_{i+1} = 4 \cdot T_i \Rightarrow 8.848, 34.304, 139.264, 565.148$ 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

24.1.2001

64

E1 (2.048 Mbps)

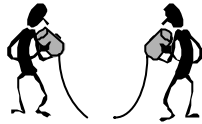
- **32 kanavaa**
 - 32 näytettä a' 8 bittiä \Rightarrow 2.048 Mbps
 - 30 datakanavaa
 - 2 signaalointikanavaa eli 16 bittiä/kehys
 - neljä kehystä \Rightarrow 64 bittiä signaalointidataa
 - 32 bittiä kanavien signalointiin
 - 32 bittiä kehysyhtäsynkronointiin + maakohtaisiin tarpeisiin

24.1.2001

65

SONET/SDH (ss. 125-130)

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



24.1.2001

66

Tavoitteet

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

24.1.2001

67

- TDM
 - yksi kanava, josta aikaviipaleita alikanaville
- synkroninen
 - master clock, tarkkuus $\sim 1/10^{**9}$
 - bitit lähetään kellon tahdissa
- kehys
 - 810 tavua, 125 ms välein (~ PCM-näytteenottoa)
 - lähetetään, oli dataa tai ei

24.1.2001

68

- SONET-järjestelmä koostuu
 - kytkimistä
 - kanavointilaitteista
 - toistimista
- yhteyshierarkia
 - sektio: kuitu kahden laitteen välissä
 - linja: kahden kanavointilaitteen väli
 - polku: lähteen ja kohteen väli

24.1.2001

69

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 käyttäjän dataa => SPE (Synchronous Payload Envelope)
 - $87 \times 9 \times 8 \times 8000 = 50.112 \text{ Mbps}$

24.1.2001

70

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'

24.1.2001

71

Datavirtojen limitys

- siirtonopeus
 - $8 \cdot 810 = 6480$ 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 = 2488.32 Mbps
- limitys tavuittain

24.1.2001

72

X.25 (ss.59-60)

- ensimmäinen **julkinen** pakettikytkentäinen teknologia, maks 64 kbps
- kehitettiin 70-luvun lopussa, käytössä 90-luvulla, nyt väistymässä
- vanhanaikaiseen puhelinverkkoon
 - vanhoja kuparikaapeleita \Rightarrow paljon virheitä \Rightarrow **HDLC-tyyppinen siirtoyhteysprotokolla**
 - virhetarkistus ja kuittaus sekä vuonvalvonta joka linkillä
- tyhmiä päätteitä \Rightarrow älykkyys verkkoon

24.1.2001

\Rightarrow **virtuaaliipiiverkko**

73

Frame Relay (ss. 60-61)

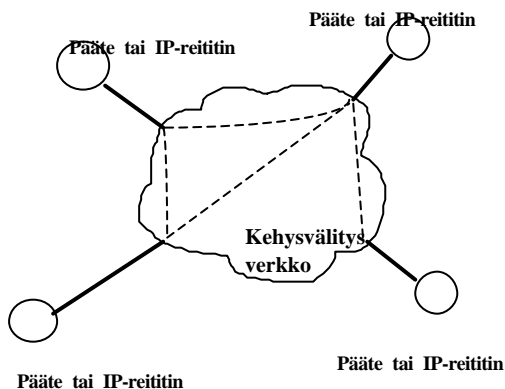
- "second-generation X.25"
 - kehitettiin 80-lopussa, käytössä 90-luvulla
 - virtuaaliipiiverkko (usein pysyvä)
 - ei virhevalvontaa, ei vuonvalvontaa
 - lasikuitulinkit lähes virheettömiä
 - käytetään LANien yhdistämiseen
 - IP-liikennettä eri konttoreiden välillä
 - luotettavampi kuin Internet
 - 64 kbps ... 1.544 Mbps

Frame relay

- 'virtual leased line'
 - vastaa vuokralinjaa kahden pisteen välillä
- nopeus 1.5 Mbps
 - 'purskeet' täydellä nopeudella
 - keskimääräinen lähetysmäärä ei saa ylittää sovittua tasoa
- myös monipisteyhteys mahdollinen
 - kehyksessä osoite, joka kertoo mihin yhteyteen lähetetään

24.1.2001

75



- voi lähettää kehyksiä (paketteja)
 - max 1600 tavua
- minimaalinen' yhteydellinen palvelu
 - tunnistaa kehyksen alun ja lopun
 - havaitsee siirtovirheet
 - virheellinen kehys tuhoataan
 - ei kuittauksia eikä vuonvalvontaa
 - kehyksessä yksi bitti, jolla voi ilmoittaa ongelmista

24.1.2001

77

Sovittu datan lähetyksenopeus

- ☉ Tästä käyttäjä maksaa
- ☉ paketeilla kaksi eri prioriteettiä
 - kehyksessä 1 bitti tätä varten
- ☉ taattu toimitus vain korkean prioriteetin paketeille
 - kun kytkimen puskuri liian täynnä, hävitetään alemman prioriteetin paketteja

☉ Palvelun tarjoaja tarkkailee lähettämistä

- tarkistaa tietyn välein, onko lähetetty liikaa
 - esim. 500 ms välein katsotaan, onko lähettäjä pysynyt sovitussa lähetyksimäärässä (esim. 32 Kbps) ja lähettänyt vain 10 kpl 1600 bitin kehyksiä.
 - jos lähettää kehyksiä tiuhempaan kuin sovitettu, ylimenevä osa kehyksistä merkitään alemman prioriteetin paketeiksi
 - toimitetaan perille vain, jos linjakapasiteettia riittää

- ☉ Mitä pitempi tarkkailun aikaväli, sitä purskeisempi voi lähetyksen olla, mitä lyhyempi sitä tasaisempi
- ☉ palvelun tarjoaja yleensä 'ylibuukkaa' käytettävissä olevan kapasiteetin
 - datansiirto purskeista, vähän samanaikaisia aktiivisia lähettäjiä

B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) (ss. 61-65, 144-147)

- ☉ yksi verkko korvaamaan puhelinverkon ja kaikki erilliset verkot
 - X.25, DQDB, frame relay, ..., kaapeli-TV
- ☉ sopii kaikille sovelluksille
- ☉ ISDN
 - liian hidas, piiriytkentäinen
- ☉ ATM (Asynchronous Transfer Mode)
 - siirtoteknologia, siirtopalvelu

24.1.2001

81

ATM (Asynchronous Transfer Mode) (ss. 144-147)

- ☉ pienet kiinteämittaiset solut ('cell relay')
 - solukytkentäinen teknologia
 - 53 tavua: 5 tavua otsaketta, 48 käyttäjän dataa
- joustava
 - vakionopeutinen liikenne (audio, video)
 - purskeinen liikenne
- solun käsittely nopeaa => nopea
- yleislähetys mahdollinen
 - tarpeen TV-lähetyksissä
 - pakettikytkentä osaa, piiriytkentä ei

24.1.2001

82

ATM-verkko

- ☉ yhteydellinen verkko
 - yhteyspyyntö muodostaa kanavan
 - muut paketit kulkevat samaa reittiä
 - solujen järjestys taataan
 - mutta soluja voi kadota
- ☉ yleensä WAN-verkkojen rakenne
 - telelaitokset
- ☉ myös LAN-verkkoja

24.1.2001

83

Verkon nopeudet

- 155 Mbps
 - teräväpiirtotelevisio
 - yhteensopivuus AT&T:n SONET siirtojärjestelmän kanssa
- 622 Mbps
 - neljä 155 kanavaa
- Gigabittejä tulevaisuudessa
- Tarvitaan huippunopeat kytkimet!
 - Kytettäviä korkeintaan muutama sata ns!

24.1.2001

84

ATM-viitemalli

- protokollapino
 - ATM sovituskkerros (~kuljetuskkerros)
 - ATM-kerros
 - peruskkerros
 - ATM riippumaton siirtomediasta:
 - usein SONET/SDH, T1/T3
- valvontataso ja käyttäjätaso (Control plane /user plane)
- verkonhallinta

24.1.2001

85

ATM-protollat

- ATM-kerros
 - solujen kuljetus
 - solun rakenne
 - virtuaaliipiirien muodostus ja purku
 - vuonvalvonta
- AAL (sovituskkerros)
 - muodostaa paketeista soluja
 - soluista paketteja

24.1.2001

86

- valvonta taso (control plane)
 - yhteyksien valvonta
- käyttäjätaso (user plane)
 - datasiirto
 - vuonvalvonta
 - virheiden korjaus
- verkonhallinta
 - resurssien hallinta
 - kerrosten toiminnan koordinointi

24.1.2001

87

- telelaitosten suurisuuntainen projekti
 - koko puhelinverkon korvaaminen!
 - muiden televerkkojen korvaaminen
 - TV-verkkojen 'kaappaaminen'
- käytössä lähinnä runkoverkkoina
 - TCP/IP kulkee atm-verkossa =>
 - "linkkikerroksen yhteys"

24.1.2001

88

Peruskkerros, linkkikerros

- Paljon erilaisia siirtovälineitä ja -tapoja
 - langallisia
 - erilaisia kuparijohtoja ja kaapeleita
 - lasikuitukaapeleita
 - langattomia
 - eri taajuuksista elektromagneettista säteilyä
 - yleislähetys / pisteestä-pisteeseen

Peruskerros

• Bittien generointi ja lähettäminen linjalle

- miten bitit esitetään ja koodataan
 - esim. voltteina ja ampeereina, taajuuksina ja vaiheina
 - Manchesterin koodaus
- ajoitukset
 - kauanko yhden bitin lähetys kestää?
- miten yhteys muodostetaan
- millaiset liittimet

24.1.2001

90

Lainalaisuudet

- valonnopeus
- informaatioteorian teoreemat
 - maksimaalinen nopeus, jolla kanavalla voidaan siirtää dataa riippuu kanavan kaistan leveydestä
 - Nyquist: kohinattomalle kanavalle
 - Shannon: kohinaiselle kanavalle
 - teoreettiset raja-arvot
 - “täysin kohinaton kanava, jossa pystytään erottamaan ääretön määrä tasoja”

Tiedon koodaus signaaliin

• bittien koodaukseen käytetään signaalin

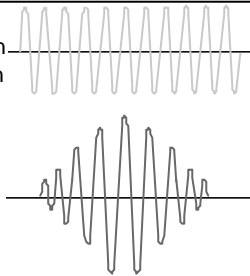
- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

• signaalintinopeus

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**

24.1.2001

92



Sinifunktio

• perusesimerkki jaksollisesta funktiosta

$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \theta)$$

A maksimiampplitudi

f taajuus

θ vaihe

24.1.2001

93

Fourier-sarja

• jaksollinen funktio voidaan esittää Fourier-sarjana

$$g(t) = c/2 + \sum (A_n \sin(2\pi n f t) + B_n \cos(2\pi n f t))$$

summassa n saa arvot 1:stä äärettömään

$$f = 1/T$$

24.1.2001

$A_n, B_n =$ Fourier-kertoimet (harmonics) 94

Fysikaalinen tulkinta

• mielivaltainen jaksollinen signaali

- generoidaan tarpeellinen määrä eritaajuisia siniaaltoja
 - siniaaltoja on helppo generoida
 - määrä voi olla myös ääretön
- käytännössä mukaan vain äärellinen määrä
 - signaali vääristyy

• spektri

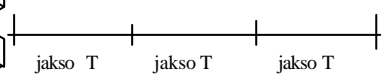
- signaalin siniaaltojen taajuuksien kokoelma

24.1.2001

95

Esimerkki: 'b'-kirjain

- $b = 01100010$
- tästä saadaan jaksollinen funktio, kun ajatellaan b:n lähetyksen toistuvan
- 01100010 01100010 01100010



$T = 8$; $f = 1/T = 1/8$

24.1.2001 96

- $g(t) = 0, 0 \leq t < 1$
- $1, 1 \leq t < 2$
- $1, 2 \leq t < 3$
- $0, 3 \leq t < 4$
-
- $1, 6 \leq t < 7$
- $0, 7 \leq t < 8$

24.1.2001 97

- Kun integroidaan lausekkeet A_n, B_n ja C_n käyttäen 'b':n jaksollista funktioita, saadaan 'b'-funktion Fourier-kertoimet.
- 'b'-signaalin tarkkaan esittämiseen tarvitaan ääretön määrä Fourier-sarjan kertoimia
 - signaali voidaan approksimoida äärellisellä määrällä termejä
 - äärellisellä määrällä sinifunktioita
 - mitä enemmän kertoimia sitä tarkempi approksimaatio

Kaistanleveys (bandwidth)

- signaalin kaistanleveys
 - $f_2 - f_1$, missä f_1 on pienin ja f_2 suurin signaalin siniaaltokomponentin taajuus
- kanavan kaistanleveys
 - väli $[f_1, f_2]$, jolla alueella olevia taajuuksia kanava pystyy välittämään

24.1.2001 99

Kaistanleveys ja tiedonsiirto

- mitä suurempi kaistanleveys, sitä suuremmat taajuudet mahdollisia, sitä useampi Fourier-termi kaistaan mahtuu \implies signaalin muoto säilyy paremmin
- signaalilla voi olla useita tasoja
 - kaksi tasoa: 0 ja 1
 - useampia tasoja: esim. 0, 1, 2 ja 3

24.1.2001 100

Kanavan siirtokyky

- siirtonopeus ja siirrettävän tietoyksikön koko ('signaalin pituus bitteinä') \implies tietoyksikön siirtoaika eli sen jaksopituus T
- 1. Kertoimen taajuus $= 1/T$
- rajallisessa kanavassa voi lähettää vain rajallisen määrän harmonic-termejä
- termien määrä \implies signaalin laatu

24.1.2001 101

Esimerkki

- kanavan nopeus 9600 bps
- tietoyksikön koko 8 bittiä ('b')
- tietoyksikön siirtoaika
 $T = 8/9600 = 0.833 \text{ ms}$
- 1. termi = $1/T = 9600/8 = 1200 \text{ Hz}$

24.1.2001

102

Esimerkki jatkuu

- Jos kanavan kapasiteetti on 3000 Hz (~puhelinlinjalla)
- \Rightarrow kanavaan mahtuu $3000/1200$ eli 2 termiä
- lähetyksen laatu on huono

24.1.2001

103

Esimerkki jatkuu yhä

- tiedonsiirtonopeus 38400 bps ja kanavan kaista 3000 Hz
 \Rightarrow 1. termi = 4800 Hz
- \Rightarrow binääritietoa ei voida lähettää, sillä kaistaan ei mahdu yhtään tämän taajuisen signaalin termiä!

24.1.2001

104

Nyqvistin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus häiriöttömällä kanavalla

$$C = 2 H \log_2 V \text{ bps}$$

C = tiedonsiirtonopeus (bps)

H = kaistanleveys

V = tasojen lukumäärä

24.1.2001

105

Näytteiden otto

- Nyquist \Rightarrow
- Jos kanavan kaistanleveys on H, niin kaikki kanavan informaatio saadaan ottamalla kanavasta 2H näytettä sekunnissa
– tiuhempi näytteiden otto ei enää tuota lisää informaatiota

24.1.2001

106

Esimerkki

- **Modeemi yleisessä puhelinverkossa käyttää 8 tasoa. Verkon kaistanleveys on 3100 Hz. Mikä on tiedonsiirtonopeus?**
- Nyqvistin kaava: $C = 2H \log_2 (V) \text{ bps}$
- $C = 2 * 3100 * \log_2 (8) \text{ bps}$
 $= 6200 * 3 \text{ bps}$
 $= 18600 \text{ bps}$

24.1.2001

107

Kohina

Kohinaksi kutsutaan johtimessa aina taustalla esiintyvää sähkömagneettista aaltoliikettä
– vahvistamaton signaali vaimenee kohinaksi

- signaali-kohina -suhde SNR

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} (S/N) \text{ dB}$$

S = signaalin teho

N = kohinan teho

- ilmoitetaan desibeleinä

24.1.2001 • suuri SNR => hyvä signaalin laatu

108

Shannonin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus kohinaisessa kanavassa

$$C = H \log_2 (1 + S/N) \text{ bps}$$

H kaistan leveys

S signaalin teho wateissa

N kohinan teho wateissa

24.1.2001

109

Esimerkki

- Yleisessä puhelinverkossa H = 3000 Hz ja SNR = 20 dB. Mikä on (teoreettinen) maksiminopeus C?

$$\text{SNR} = 20 = 10 \log_{10} (S/N)$$

$$2 = \log_{10} (S/N) \text{ eli } S/N = 10^{**2} = 100$$

$$C = H \log_2 (1 + S/N) = 3000 \log_2 (1 + 100)$$

$$= 3000 \log_{10}(101) / \log_{10}(2)$$

$$= 19974 \text{ bps}$$

24.1.2001

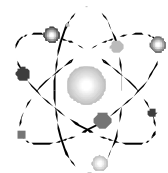
110

Esimerkki jatkuu

- Tyypillisesti SNR = 30 DB
=>

- 3000 Hz:n kanavalla teoreettinen maksimi aina < 30000

- käytettiin koodauksessa kuinka monta tasoa tahansa



24.1.2001

111