



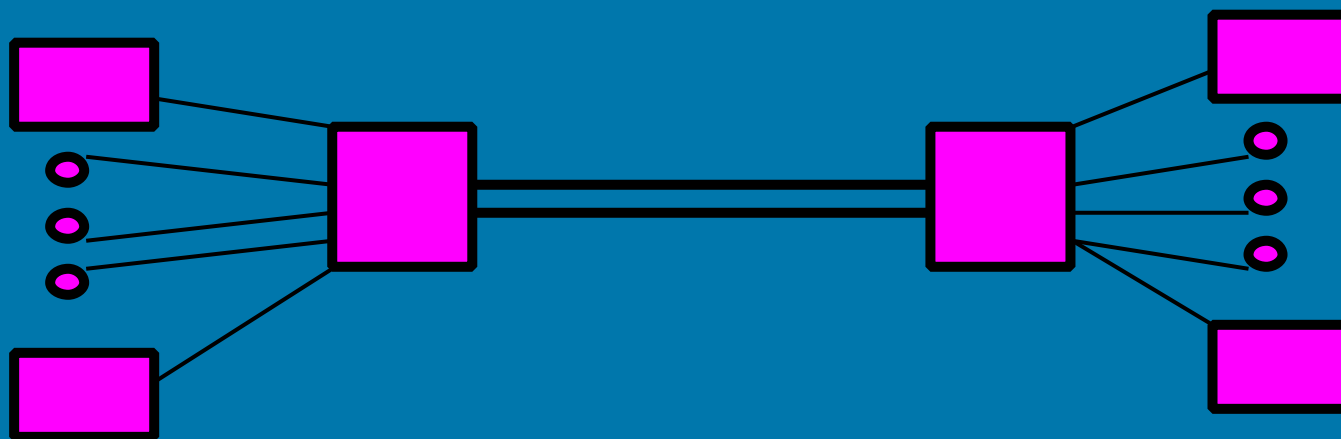
Laajaverkot (WAN)

• Puhelinverkko

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

Kanavointi (multiplexing)

- Kanavointi (tai limitys)
 - runkolinja yhteiskäytössä



T1 Carrier

- 24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen
- näyte = 8 bittiä, joista yksi pariteettibitti
 - $7 * 8000 = 56\ 000$ bps dataa ja 8000 bps signallointi-infoa
- kehys:
 - $24 * 8 = 192$ bittiä
 - + kehystysbitti: 01010101010101
 - 193 bittiä/125 ms \Rightarrow 1.544 Mbps

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

CCITT PCM

- vähemmän signalontia,
 - 8 bittiä dataa,
 - common channel signaling
 - kehysbitti: 1010101010 ... parittomissa kehyksissä
 - channel associated signaling
 - kullakin kanavalla oma signalointi alikanava
 - » yksi bitti joka kuudennesta kehyksestä

E1 (2.048 Mbps)

• 32 kanavaa

– 32 näytettä a' 8 bittiä => 2.048 Mbps

- 30 datakanavaa

- 2 signalointikanavaa eli 16 bittiä/kehys

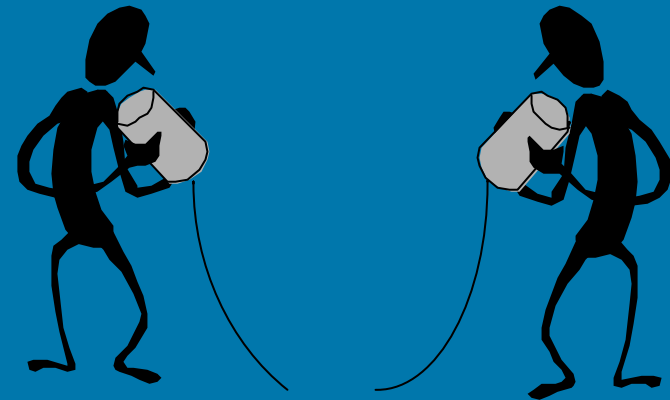
 - neljä kehystä => 64 bittiä signalointidataa

 - 32 bittiä kanavien signalointiin

 - 32 bittiä kehyssynkronointiin + maakohtaisiin tarpeisiin

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



Tavoitteet

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



• 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



SONET-järjestelmä koostuu

- kytkimistä
- kanavointilaitteista
- toistimista

yhteyshierarkia

- sektio: kuitu kahden laitteen välissä
- linja: kahden kanavointilaitteen väli
- polku: lähteen ja kohteen väli

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 käyttäjän dataa =>

SPE (Synchronous Payload Envelope)

- $87 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 8000 = 50.112 \text{ Mbps}$

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’

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

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 => paljon virheitä
 - => **HDLC-tyyppinen siirtoyhteysprotokolla**
 - virhetarkistus ja kuittaus sekä vuonvalvonta joka linkillä
 - tyhmiä päätteitä => älykkyys verkkoon

24.1.2001=> **virtuaalipiiriverkko**

Frame Relay (ss. 60-61)

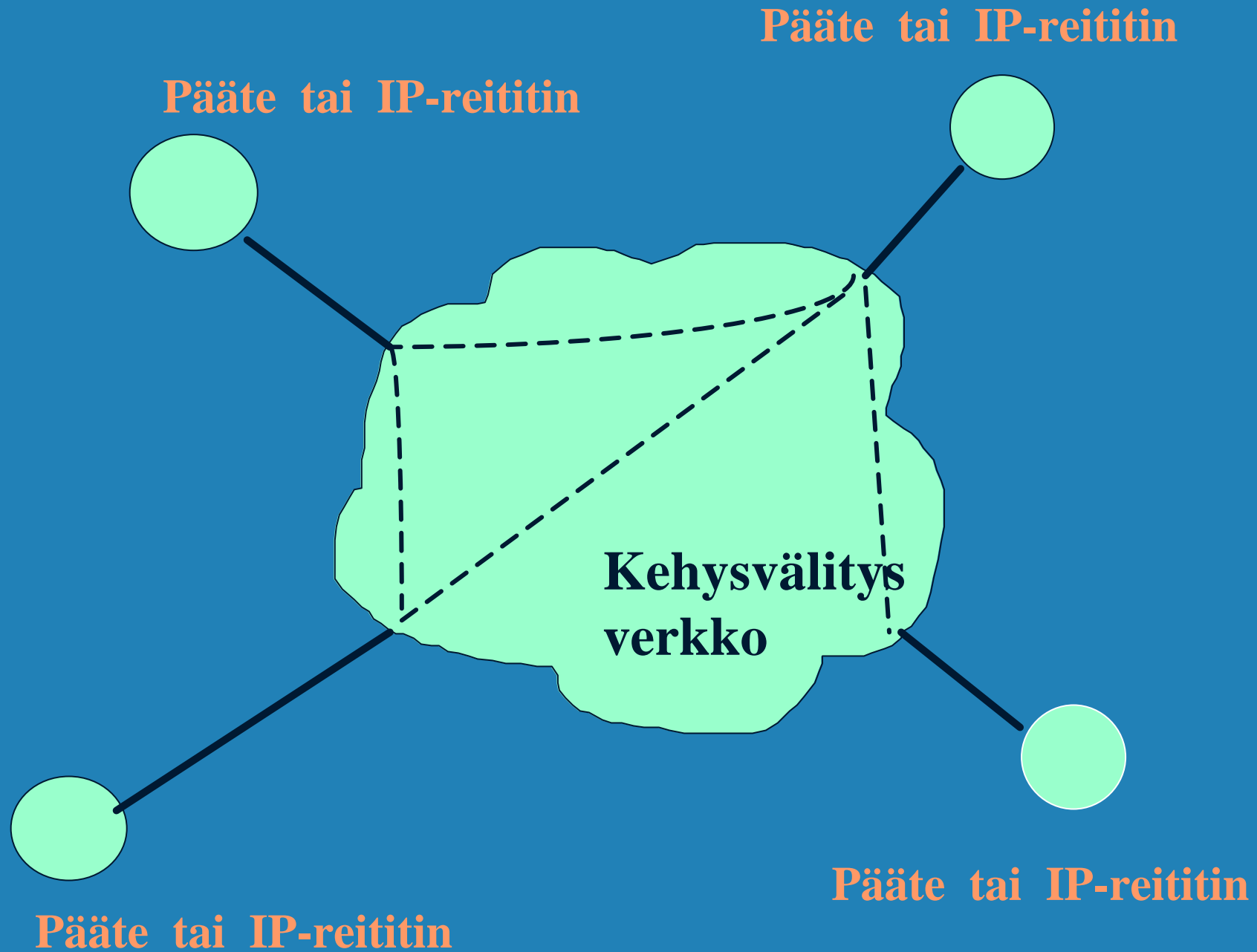
☼ “second-generation X.25”


- kehitettiin 80-lopussa, käytössä 90-luvulla
- virtuaalipiiriverkko (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 monipisteysteys mahdollinen
 - kehyksessä osoite, joka kertoo mihin yhteyteen lähetetään





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



Sovittu datan lähetysnopeus

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

- 
- Mitä pitempi tarkkailun aikaväli, sitä purskeisempi voi lähetys 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, piirikytkentäinen
- ☉ ATM (Asynchronous Transfer Mode)
 - siirtoteknologia, siirtopalvelu

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

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

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

Verkon nopeudet

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

24.1.2001

ATM-viitemalli

☉ protokollapino

- ATM sovituserros (~kuljetuserros)
- ATM-kerros
- peruserros
 - ATM riippumaton siirtomediasta:
 - usein SONET/SDH, T1/T3

☉ valvontataso ja käyttäjätaso (Control plane /user plane)

☉ verkonhallinta

ATM-protollat

• ATM-kerros

- solujen kuljetus
- solun rakenne
- virtuaalipiirien muodostus ja purku
- vuonvalvonta

• AAL (sovituserkerros)

- muodostaa paketeista soluja
- soluista paketteja



- valvonta taso (control plane)

- yhteyksien valvonta

- käyttäjätaso (user plane)

- datasiirto
- vuonvalvonta
- virheiden korjaus

- verkonhallinta

- resurssien hallinta

24.1.2001

- kerrosten toiminnan koordinointi



☉ telelaitosten suurisuuntainen projekti

- koko puhelinverkon korvaaminen!
- muiden televerkkojen korvaaminen
- TV-verkkojen ‘kaappaaminen’

☉ käytössä lähinnä runkoverkkoina

- TCP/IP kulkee atm-verkossa =>
 - “linkkikerroksen yhteys”



Peruskerros, 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



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”

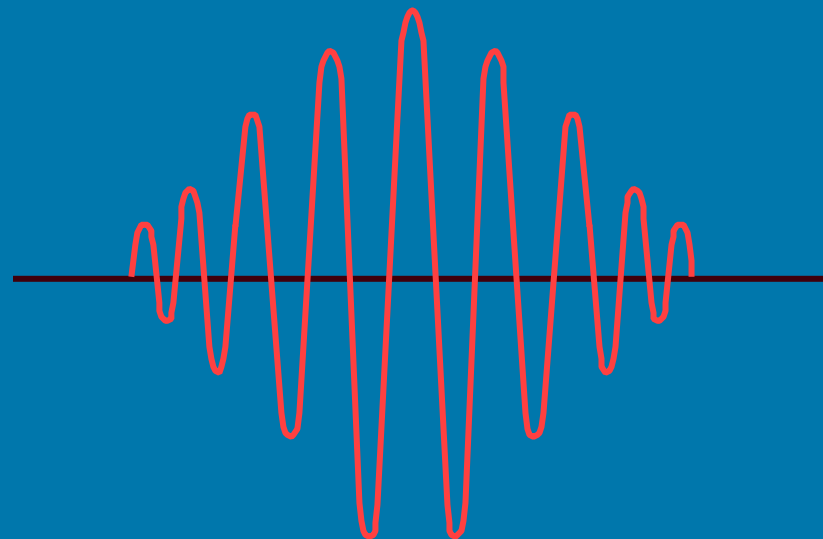
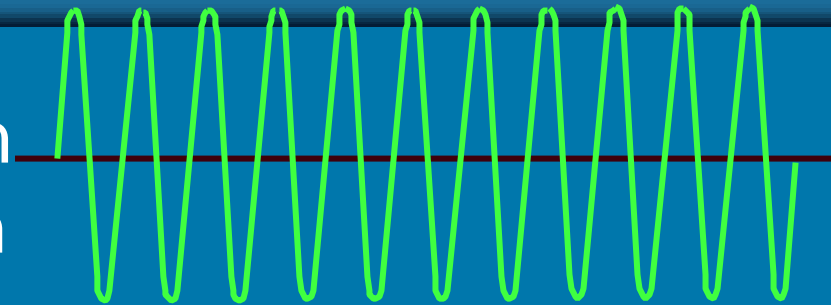
Tiedon koodaus signaaliin

• bittien koodaukseen käytetään signaalin

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

• signalointinopeus

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**



Sinifunktio

- perusesimerkki jaksollisesta funktiosta

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

A maksimiampplitudi

f taajuus

θ vaihe

Fourier-sarja

- jaksollinen funktio voidaan esittää Fourier-sarjana

- $$g(t) = c/2 + S (A_n \sin (2 p n f t) + B_n \cos (2 p n f t))$$

summassa n saa arvot 1:stä äärettömään

$$f = 1/T$$

24.1.2001 $A_n, B_n =$ Fourier-kertoimet (harmonics)

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

Esimerkki: 'b'-kirjain

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



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



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

- ☉ 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

Kaistanleveys ja tiedonsiirto

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

Kanavan siirtokyky

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

Esimerkki

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



Esimerkki jatkuu

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

Esimerkki jatkuu yhä

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

Nyqvistin kaava

- ☉ maksimaalinen tiedonsiirtonopeus häiriöttömällä kanavalla

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

C = tiedonsiirtonopeus (bps)

H = kaistanleveys

V = tasojen lukumäärä

Näytteiden otto

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

Esimerkki

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

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

- suuri SNR => hyvä signaalin laatu

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

Esimerkki

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

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

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

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

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

$$= 19974 \text{ bps}$$

Esimerkki jatkuu

- Tyypillisesti $\text{SNR} = 30 \text{ DB}$
 \Rightarrow
- 3000 Hz:n kanavalla teoreettinen maksimi aina < 30000
- käytettiin koodauksessa kuinka monta tasoa tahansa

