

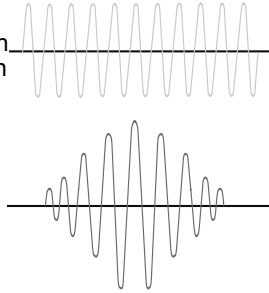
Tiedon koodaus signaaliin

□ bittien koodaukseen käytetään signaalin

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

□ signalointinopeus

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**



Sinifunktio

□ perusesimerkki jaksollisesta funktiosta

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

A maksimiampplitudi

f taajuus

ϕ vaihe

Pelkkä sinifunktio ei pysty sellaisenaan välittämään informaatiota, vaan siinä täytyy olla muutoksia!

10/14/2003

44

Fourier-sarja

□ Mikä tahansa (lähes) jaksollinen funktio voidaan esittää Fourier-sarjana

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

summassa n saa arvot [1,4]

taajuus $f = 1/T$, jossa T = yhden jakson aika (s)

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

C = vakio

10/14/2003

45

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

10/14/2003

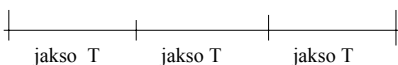
46

Esimerkki: 'b'-kirjain

□ b = 01100010

□ tästä saadaan jaksollinen funktio, kun ajatellaan b:n lähetysten toistuvan

□ 01100010 01100010 01100010



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

10/14/2003

47

□ $g(t) = 0, 0 \leq t < 1$

1, $1 \leq t < 2$

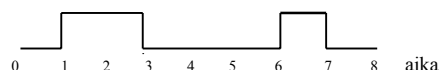
1, $2 \leq t < 3$

0, $3 \leq t < 4$

.....

1, $6 \leq t < 7$

0, $7 \leq t < 8$



Kertoimien laskeminen

- ❖ 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
- ❖ mitä enemmän kertoimia sitä tarkempi approksimaatio

10/14/2003

49

Spektri ja kaistanleveys (bandwidth)

- signaalin spektri
 - $f_2 - f_1$, missä f_1 on pienin ja f_2 suurin signaalin siniaaltokomponentin taajuus
- siirtomedian kaistanleveys
 - väli $[f_1, f_2]$, jolla alueella olevia taajuuksia media pystyy välittämään
 - vääristämättä niitä liian paljon
 - siirtomedian ominaisuus

10/14/2003

50

Kaistanleveys ja tiedonsiirto

- mitä suurempi kaistanleveys, sitä suuremmat taajuudet mahdollisia, sitä useampi Fourier-termi kaistaan mahtuu ==> **signaalin muoto säilyy oikeampana**
- ❖ Pieni kaistanleveys => siirtonopeus on myös pieni!
- ❖ Suuri kaistanleveys sallii suuremmat nopeudet

10/14/2003

51

Kanavan siirtokyky

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

10/14/2003

52

Esimerkki

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

10/14/2003

53

Esimerkki jatkuu

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

10/14/2003

54

Esimerkki jatkuu yhä

- tiedonsiirtonopeus 38400 bps
- ja kanavan kaista 3000 Hz
- => 1. termi = 4800 Hz

- => binääritietoa eli kaksiarvoista (0, 1) ei voida lähettää, sillä kaistaan ei mahdu yhtään tämän taajuisen signaalin termiä!

10/14/2003

55

Miten suuremmat nopeudet ovat mahdollisia?

- Kyseessä oikeastaan signaalimuutosten määrä aikayksikössä: baudit
- signaalilla voi olla useita tasoja
 - kaksi tasoa: 0 ja 1
 - useampia tasoja : esim. 0, 1, 2 ja 3
 - Tasojen määrä kasvattaa yhdessä muutoksessa välittyvää informaation määrää: 1 bitti, 2 bittiä, ... eli \log_2 (tasojen lukumäärä)

10/14/2003

56

Nyquistin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus häiriöttömällä kanavalla

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

C = tiedonsiirtonopeus (bps)

H = kaistanleveys

V = tasojen lukumäärä

10/14/2003

57

Näytteiden otto

- Nyquist =>
 - Jos siirtokanavan kaistanleveys on H, niin kaikki kanavan kuljettama informaatio saadaan ottamalla kanavasta 2H näytettä sekunnissa
 - tiuampi näytteiden otto ei enää tuota lisää informaatiota
 - Kaikki, mitä tapahtuu havaitaan tutkimalla tilannetta 2H kertaa sekunnissa

10/14/2003

58

Esimerkki

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

10/14/2003

59

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

10/14/2003

60

Shannonin kaava

- maksimaalinen tiedonsiirtonopeus kohinaisessa kanavassa

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

H kaistan leveys

S signaalin teho watteina

N kohinan teho watteina

10/14/2003

61

Esimerkki

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

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

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

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

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

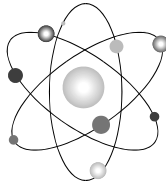
$$= 19974 \text{ bps}$$

10/14/2003

62

Esimerkki jatkuu

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



10/14/2003

63

Laajaverkot (WAN)

- **Televerkko**
 - Modeemi, xDSL, kanavointi, PCM, T1, SONET
- **X.25, kehysvälitys** (Frame Relay)
- **Atm-verkko**

10/14/2003

64

Puhelinverkko

- Olemassa oleva infrastruktuuri 'tiedon' kuljetukseen
- Ongelma
 - äänenkuljetusteknologian sopivuus tietokoneiden väliseen kommunikointiin
 - datalinja $10^{**7} - 10^{**9} \text{ bps}$, BER $\sim 10^{**-12}$
 - puhelin 10^{**5} bps , BER $\sim 10^{**-5}$ (?)
 - vrt. $1 \text{ km/t} \leftrightarrow 100 - 10000 \text{ km/t}$
 - MTBF $2.8 \text{ min} \leftrightarrow 53 \text{ vuotta}$

10/14/2003

65

Ristiriita

- eri taajuuudet vaimenevat eri tavoin
- eri taajuuudet etenevät eri nopeudella
- \Rightarrow kapea kaista
 - vähemmän virheitä analogisissa signaaleissa
- digitaalinen 'kantti'-signaali
- \Rightarrow leveä kaista
 - digitaalisen signaalin muoto säilyy

10/14/2003

66

Digitaalisen signaloinnin edut

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

10/14/2003

67

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

10/14/2003

68

Modeemeja

- ❑ QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
 - ❑ 9600 bps 2400 baudin linjalla, 16 eri 'tasoa' = 4 bittiä
- ❑ V.32bis
 - ❑ 14 400 bps 2400 baudin linjalla, 64 tasoa => 6 bittiä
- ❑ V.34
 - ❑ 28.8 Kbps => 33.6 Kbps (teoreettinen raja (Shannon): 35 Kbps)
- ❑ V.90, V.92
 - ❑ 56 Kbps
 - ❑ "V.90 will be the final analog modem speed standard."

10/14/2003

69

xDSL-modeemit

- ❑ digitaalinen paikallissilmukka
 - ❑ (Digital Subscriber Loop)
 - ❑ kierretyn parin kaistanleveys >> 4000Hz
 - ❑ 4 000 HZ:n rajoitus puhelintekniikasta
- ❑ useita hieman erilaisia ratkaisuja
 - ❑ ADSL
 - ❑ SDSL
 - ❑ HDSL
 - ❑ VDSL

10/14/2003

70

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)

10/14/2003

71

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
 - ❑ lähetyskanavan laatua valvotaan ja niiden kuormitusta muutetaan tarpeen mukaan, jopa suljetaan tarvittaessa
 - ❑ monimutkainen laskenta => paljon prosessointia

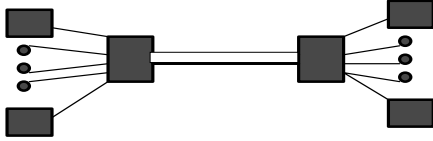
10/14/2003

72

Kanavointi (multiplexing)

□ Kanavointi (tai limitys)

- runkolinja yhteiskäytössä



10/14/2003

73

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

10/14/2003

74

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

10/14/2003

75

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 960 Gbps
 - jakamalla kuitu kanaviin => terabitinopeuksia

10/14/2003

76

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

10/14/2003

77

PCM (Pulse Code Modulation)

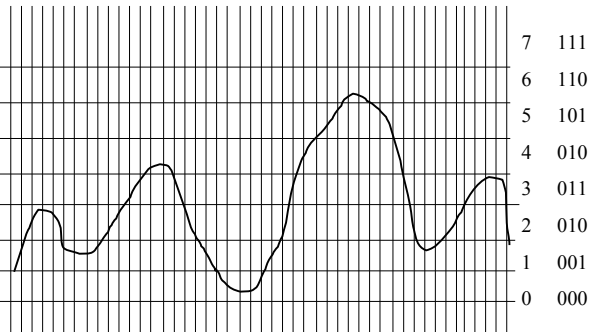
□ Tekniikka analogisen signaalin digitalisointiin

- 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.

10/14/2003

78

Yleensä tasoja on 256 kappaletta => 8 bittiiä



Näytteitä tarpeeksi tiuhaan
(Nyquist: 2* maksimitaajuus)

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

T1 Carrier

- ❖ 24 äänikanavaa, kanavista näyte vuorotellen
 - näyte = 8 bittiiä, joista yksi pariteettibitti
 - $7 * 8000 = 56\,000$ bps dataa ja 8000 bps signaalointi-
infoa
- ❖ kehys:
 - $24 * 8 = 192$ bittiiä
 - + kehystysbitti: 0101010101010101 ...
 - 193 bittiiä/125 ms => 1.544 Mbps
- ❖ eurooppalainen E1 2.048 Mbps

10/14/2003

80

Runkolinjojen yhdistäminen

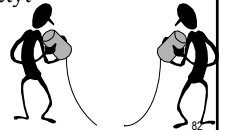
- ❖ runkolinjoja voidaan yhdistää edelleen
 - 4 T1-linjaa => T2-linja (6.312 Mbps)
 - 6 T2-linjaa => T3-linja (44.736 Mbps)
 - 7 T3-linjaa => T4-linja (274.176 Mbps)
 - joka yhdistämisellä lisätään bittejä kehystystä ja kehysvirheestä toipumista varten
- ❖ useita erilaisia yhdistämistapoja
 - ITU: yhdistetään jatkossa aina neljä joka kerralla
 - 32, 128, 512, 2048, 8192 kanavaa => 2.048 - 565.148 Mbps

10/14/2003

81

SONET/SDH

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



10/14/2003

82

Tavoitteet

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

10/14/2003

83

TDM

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

10/14/2003

84

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

10/14/2003

85

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'

10/14/2003

86

Datavirtojen limitys

❖ siirtonopeus

- $8 \cdot 810 = 6480$ bittia => 51.84 Mbps =>
STS-1 (Synchronous Transport Signal-1)

❖ limitys

- kolme STS-1 => STS-3
- neljä STS-3 => STS-12
- ... => STS-48

10/14/2003

87

X.25

❖ ensimmäinen julkinen pakettikytkentäinen teknologia, maks 64 kbps

- kehitettiin 70-luvun lopussa, käytössä vielä 90-luvulla, tuskin missään enää käytössä
- vanhanaikaiseen puhelinverkkoon
 - vanhoja kuparikaapeleita => paljon virheitä**=> HDLC-tyyppinen siirtoyhteysprotokolla**
 - virhetarkistus ja kuittaus sekä vuonvalvonta joka linkillä
- tyhmiä päätteitä => älykkyys verkkoon
=> virtuaalipiiriverkko

10/14/2003

88

Kehysvälitys (Frame Relay)

❖ "second-generation X.25"

- kehitettiin 80-lopussa, käytössä 90-luvulla
- virtuaalipiiriverkko (usein pysyvä)
- ei virhevalvontaa, ei vuonvalvontaa
 - lasikuitulinkit lähes virheettömiä
- taattu lähetysnopeus
- käytetään LANien yhdistämiseen
 - IP-liikennettä yrityksen eri toimintapisteiden välillä
 - luotettavampi kuin Internet
- 64 kbps ... 1.544 Mbps

10/14/2003

89

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

10/14/2003

90