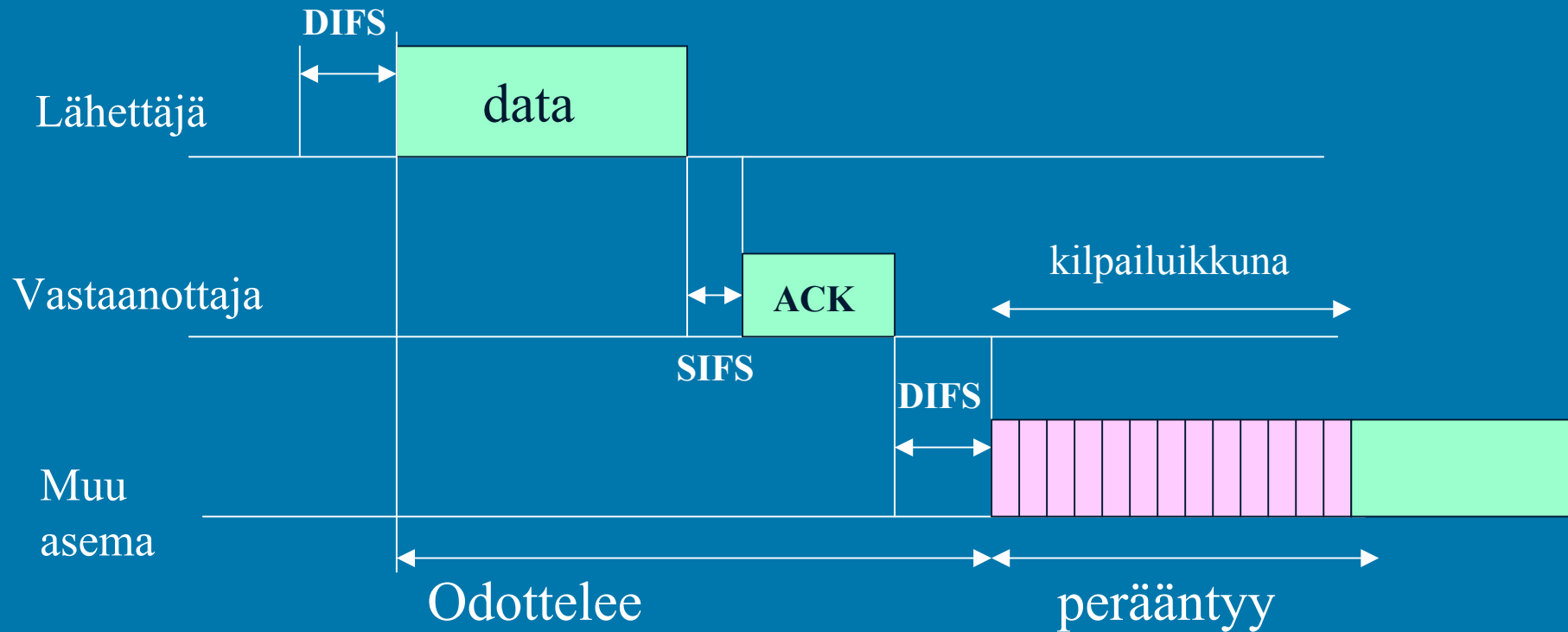


CSMA/CA: Satunnaisperäntyminen (Random backoff)

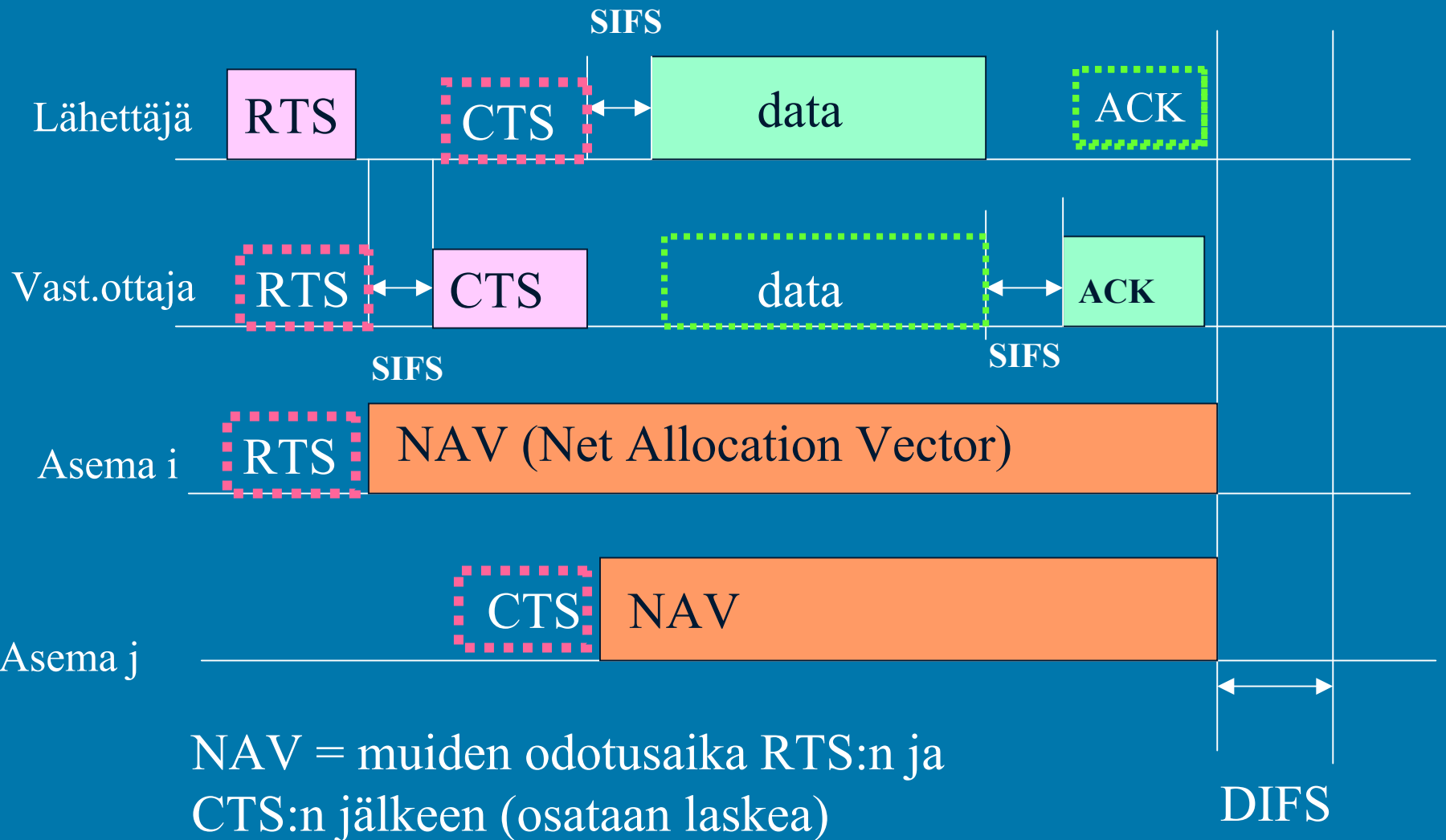
- ❑ samankaltainen kuin Ethernetissä
 - ❑ Kilpailuikkuna : 31-1023 aikaviipaletta
 - oletusarvo 31
 - kasvaa, jos lähetykset törmäävät, pienee kun lähetysohjelma onnistuu
 - törmäys aina kaksinkertaistaa ikkunan
 - ❑ ikkunasta valitaan satunnainen odotusaika
 - jos kukaan muu ei ala aikaisemmin lähettää, niin aloitetaan lähetysohjelma odotusajan päätyttyä

Lähetysten kuittaukset



Jos lähettäjä ei saa kuittausta, niin sanoma lähetetään uudestaan

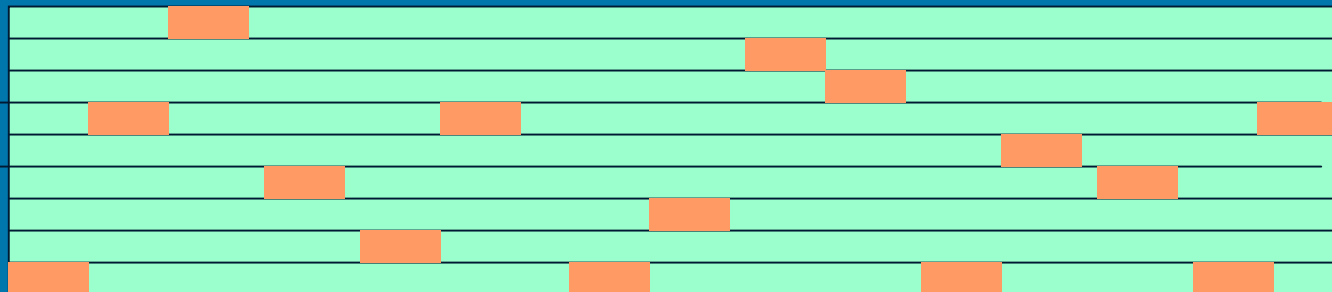
RTS, CTS ja NAV



Fyysinen kerros: hajaspektri

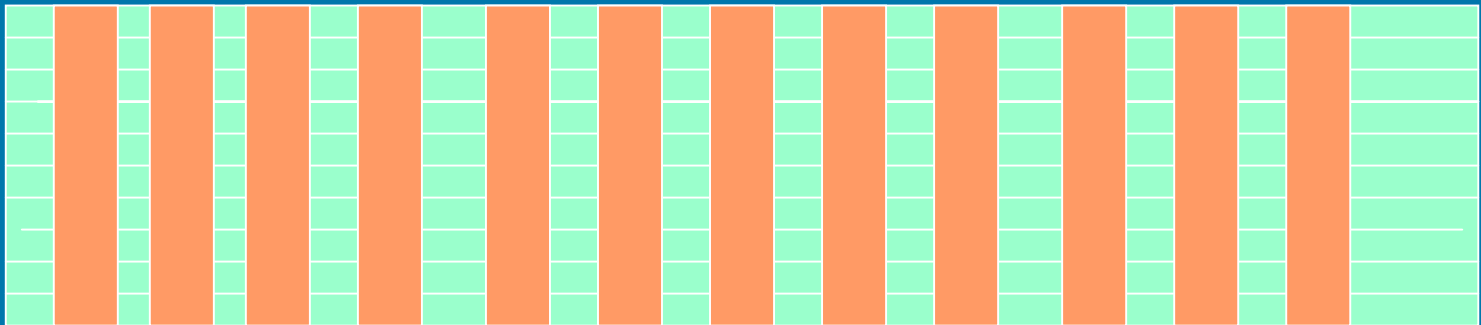
□ FHSS taajuushyppely (frequency hopping)

- koko käytössä oleva taajuuskaista on jaettu useaan alikaistaan
 - maksimissaan 79 alikaistaa $\Delta f = 1$ MHz
 - lähetyksessä käytettävä ainakin 6 eri alikaistaa
- lähettäjä vaihtaa alikaistaa koko ajan tietyn kuvion mukaan => vähentää häiriöiden vaikutusta



Hajaspektri: toinen tapa

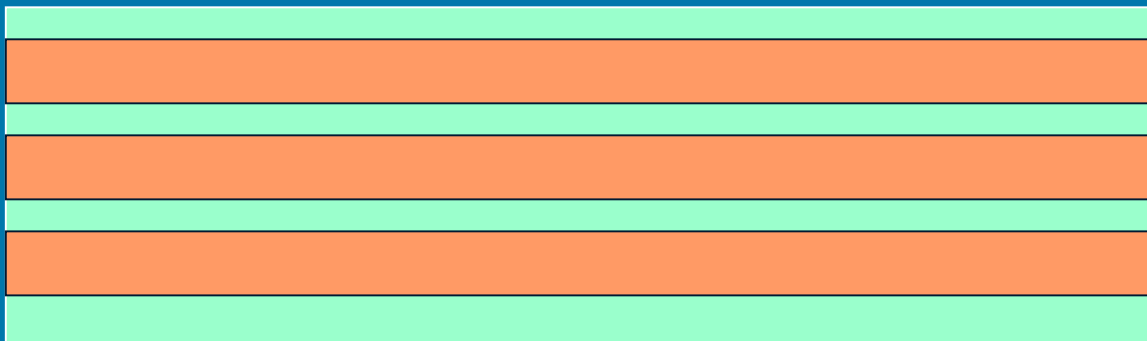
- **DSSS** suorasegvenssi (direct sequence)
 - lähettää datan yhdessä satunnaisen bittisekvenssin (pseudo-noise) kanssa eli useana siruna (vrt. CDMA)
 - tuloksena hyvin laajakaistainen, kohinan kaltainen signaali
 - kestää hyvin häiriöitä
 - ei häiritse voimakkaampaa kapeakaistaista lähetystä
 - vaikeaa havaita, salakuunnella tai väärentää



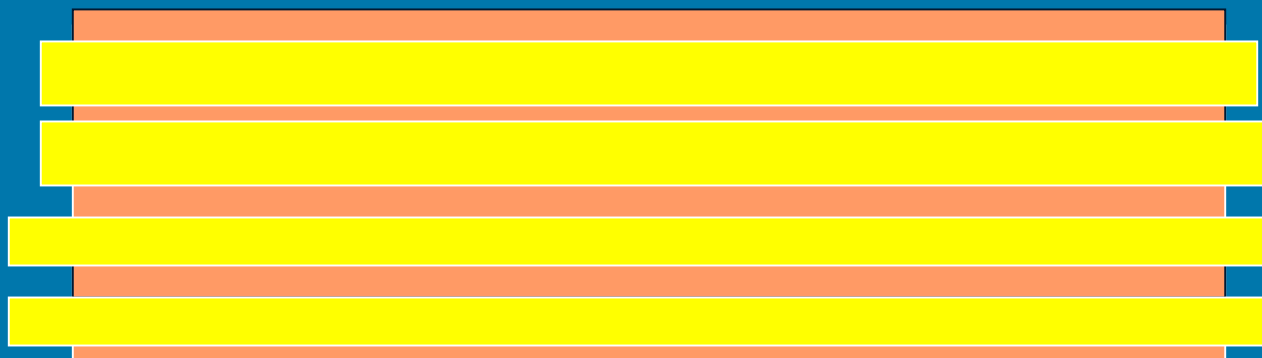
Peruskerros: OFDM

- ❑ **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - ❑ Saadaan suhteellisen kapeaan kaistaan mahtumaan paljon bittejä lähettämällä samanaikaisesti monta signaalia eri alikanavilla (multicarrier modulation), joiden taajuudet voivat olla osin päällekkäisiä
 - ❑ Sopivia taajuuksien kerrannaisia käyttäen => signaalit eivät häiritse toisiaan (mutual interference)
 - ❑ Lupaava, mutta vaativa teknologia, joka hyödyntää digitaalista signaalin prosessointia, Fourier-muunnoksia, yms => 54 Mbps

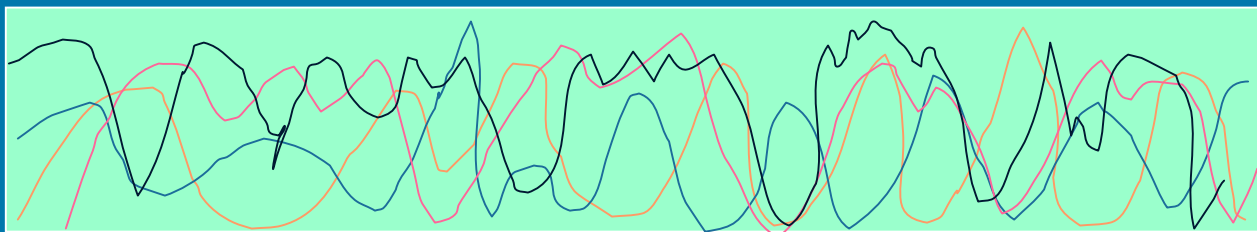
Alikanavien välissä varoalueet, jotta signaalit eivät häiritse toisiaan:



OFDM: alikanavien taajuudet voivat olla osin päällekkäisiä



Silti eri signaalit pystytään erottamaan :



IEEE 802.11a

- ❑ Nopeudet 6->54 Mbps
- ❑ Käyttää 5 GHz:n kaistaa
 - herkkä monenlaisille häiriöille
 - USA:ssa 300 MHz vapaa-alue (UNII)
 - Euroopassa varattu HiperLAN2:lle
- ❑ fyysinen kerros OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - useita alikanavien eri taajuuksia, jotka keskenään ortogonaalisia
- ❑ laitteita vuoden 2001 lopussa

IEEE 802.11b

- ❑ Yhteensopivuus perusversion kanssa
 - 2.4 GHz:n alue
 - samankaltainen fyysinen kerros
- ❑ nopeudet 5.5 tai 11 Mbps (~10 Mbps perus-Ethernet)
 - nopeutus perustuu suurelta osin kehittyneempään modolointitekniikkaan
 - yhtä signaalimuutosta kohden enemmän bittejä
 - sopeutuu automaattisesti lähetyskanava ominaisuuksiin
 - Huonolla linjalla nopeus voi olla vain 1 tai 2 Mbps!

ETSI:n Hiperlan-standardit (vain Euroopassa)

□ HiperLAN-tavoitteita

- suuret nopeudet (> IEEE:llä)
- turvallisuuspiirteet
- priorisointi
- yhteensopivuus 3G-mobiililaitteiden kanssa

□ Standardeja

- HiperLAN1: 20 Mbbps
- HiperLAN2: 25 -54 Mbps
- HiperAccess: 25 Mbps
- HiperLink: 155 Mbps

□ Onko näitä missään käytössä?

HiperLAN2

- ❑ **Nopea:** fyysisellä tasolla 54 Mbps, verkkokerroksella 25 Mbps)
- ❑ Fyysinen kerros lähes samanlainen kuin 802.11a:ssa
 - OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing)
 - 5 GHz
- ❑ **MAC: dynaaminen aikajako** (TDD, Time-Division Duplex)
 - MAC-kehys 2 ms
 - Resource Request -pyyntö ennen lähetystä
 - tässä kilpailua muiden lähettäjien kanssa
 - lähetysvuorot jaetaan ja lähetys tapahtuu ilman kilpailua
- ❑ **Yhteydellinen ja keskitetty valvoja => QoS**
 - Sovituskerros: sovittaa erilaisten linkkikerrosten palvelut
 - solu- tai pakettiliikenteelle (atm tai Ethernet), UMTS, PPP, ..

HiperAccess ja Hiperlink

□ Hiperaccess

- langaton laajakaistayhteys koteihin
 - vrt. xDSL-yhteys ja kaapelimodeemi
- 25 Mbps
- max. 5 km:n etäisyydellä

□ Hiperlink

- kiinteä kaksipisteyhteys
- 17 GHz:n taajuusalueessa
- 155 Mbps nopeus
 - atm-yhteensopivuus

HomeRF

- ❑ Korvaamaan kotiympäristössä 802.11b:n
 - ❑ 802.11b tarkoitettu yritysten käyttöön
 - ❑ kallis ratkaisu
 - ❑ jos laitteita tiiviisti kuten kotona, 802.11b edellyttää keskitettyä valvontaa
 - ❑ ei sovi hyvin äänensiirtoon
 - ❑ siirtoetäisyys n. 50 metriä, nopeus 10Mbps (2.4 GHz)
 - ❑ ääni + data; äänenlaatu hyvä, koska sille varattu oma kaista
 - ❑ Käyttää taajuushyppelyä=> sietää hyvin häiriöitä
 - ❑ Laitevalmistajat eivät enää tue?

Bluetooth

- ❑ **erilaisten elektronisten laitteiden langattomaan kommunikointiin**
 - ❑ Halpa ja yksinkertainen
 - ❑ Radiolinkki=>
 - ❑ ei tarvitse näköyhteyttä (vrt infrapuna)
 - ❑ Monen laitteen välinen kommunikointi
 - ❑ 2.45 GHz vapaakäyttöinen radiotaajuus
 - ❑ nopeus jopa 2 Mbps saakka
 - ❑ 10-100 m etäisyydellä
 - ❑ Käyttää taajuushyppelyä: 79 eri 1 MHz taajuutta

Bluetooth:

- ❑ sekä FEC (Forward Error Correction) että CRC (Cyclic Redundancy Check) + uudelleen lähettäminen
- ❑ laitteet voivat muodostaa keskenään verkkoja
 - ❑ pico net: isäntä + enintään 7 orjaa (slave)
 - ❑ hajaverkko (scatternet) yhdistää pico-verkkoja

6.3 Laajaverkot (WAN)

- ❖ Puhelinverkko
 - ❖ runkolinjat
 - ❖ digitaalisia, kuitua
 - ❖ local loop
 - ❖ analoginen, kierretty pari
 - ❖ kanavointi
- ❖ X.25, Frame Relay
- ❖ Atm-verkko

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”

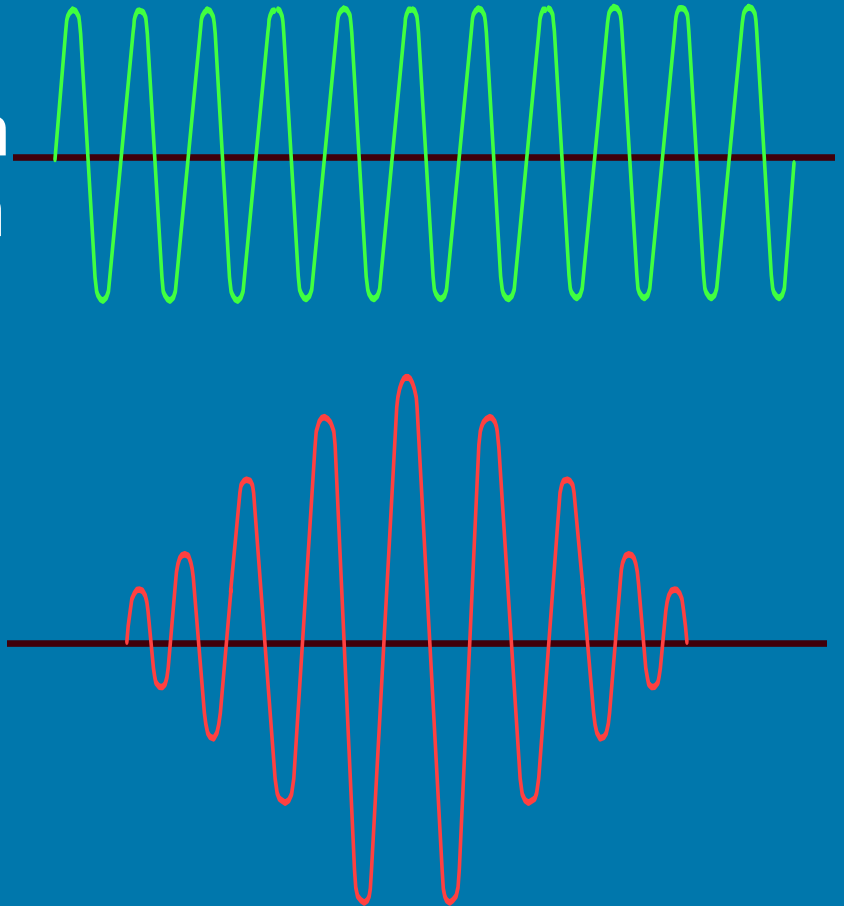
Tiedon koodaus signaaliin

□ bittien koodaukseen käytetään signaalin

- taajuutta
- amplitudia
- vaihetta

□ signalointinopeus

- signaalia / s
- yksikkönä **baudi**



Sinifunktio

- perusesimerkki jaksollisesta funktiosta

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

A maksimiampplitudi

f taajuus

q vaihe

Fourier-sarja (Tanenbaum ss.78-82)

- jaksollinen funktio voidaan esittää Fourier-sarjana
- $g(t) = c/2 + S (A_n \sin (2 \pi n f t) + B_n \cos (2 \pi n f t))$

summassa n saa arvot 1:stä äärettömään

$$f = 1/T$$

$A_n, B_n =$ 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!

Nyquistin 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?

⌚ Nyquistin kaava: $C = 2H \log_2 (V)$ bps

$$\begin{aligned} \text{⌚ } C &= 2 * 3100 * \log_2 (8) \text{ bps} \\ &= 6200 * 3 \text{ bps} \\ &= 18600 \text{ bps} \end{aligned}$$

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