

S-38. 1105
Tietoliikennetekniikan
perusteet

Jukka Manner
Teknillinen korkeakoulu

Luento 3
Signaalin siirtäminen
Tiedonsiirron perusteita

Jukka Manner
Teknillinen korkeakoulu

Luennon ohjelma

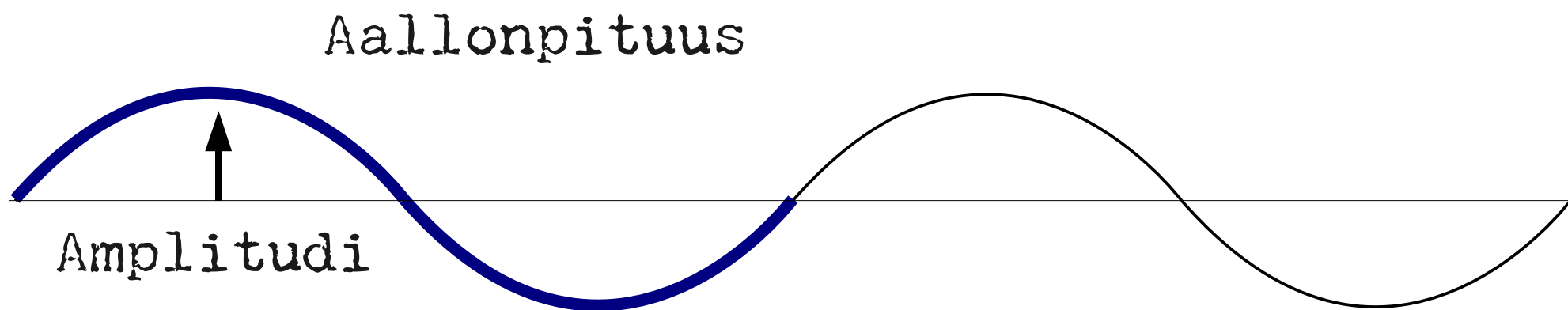
- Termejä, konsepteja signaaleista
 - Signaalin lähettäminen
 - Digitaalisen signaalin siirtäminen
 - Modulointi
 - Kanavointi
 - Lähettämisen ohjaus
-
- Kirjasta luvut 4 ja 5.6-5.11

Termejä, konsepteja

Ääni

- Mekaanista värähtelyä
- Aaltoliikettä joka saa aikaan poikkeaman väliaineen staattisessa tilassa
- Etenemisnopeus riippuu väliaineesta, esim. ilma 330 m/s, vesi 1500 m/s, teräs 5000 m/s
- Ihminen aistii äänestää mm. voimakkuuden ja korkeuden

Ääni



Ääni

- Keskeiset termit
 - Aallonpituus λ
 - Amplitudi A (teho, energia)
 - Taajuus Hz (aaltoa per sekunti)
 - Kaistanleveys (alimman ja ylimmän taajuuden erotus)

Ääni

- Ihminen kuulee 16-20000 Hz taajuuksia
- Puhe (-liikenne) yleensä 300-3400 Hz
- Radiotaajuuksia
 - GSM: 850, 900, 1800 ja 1900Mhz
 - WLAN: 2.4 ja 5 GHz
 - Digitv: 470-850 MHz
- Signaali vaimenee matkalla
- Yhteys epäsymmetrinen: osapuolet eivät aina kuule toisiaan yhtä hyvin

Desibeli

- Yksikkö *Bell*, tulee puhelimen keksijästä
- Yleensä käytetään termiä desibeli (dB), Bellin kymmenesosa
- Kertoo hyötysignaalin ja taustahäiriön suhteen
- Kuinka vahva pääasiallinen signaali on suhteessa meluun eli *signaalikohinasuhde* (S/N, signal-to-noise ratio)

Desibeli

- Laskukaava:

$$\frac{P1}{P2} [dB] = 10 \log \frac{P1}{P2}$$

- Tehon kaksinkertaistaminen nostaa arvoa 3 dB
- Esimerkkejä:
 - Suhde 1000: 1 = 30 dB
 - Suhde 2000: 1 = 33 dB
 - Suhde 5000: 1 = 37 dB
 - Suhde 10000: 1 = 40 dB

Desibeli

- Käytännössä esim. langattomissa lähiverkoissa (WLAN) S/N suhde
 - ~20 dB: yhteys käyttökelvoton
 - >40 dB: hyvä yhteys
 - >60 dB: erinomainen
 - Maksimi ehkä n. 90 dB

Shannonin teoreema

- Claude Shannon tutki informaation ja kohinan suhdetta
- Hänen tunnetuin teoreema pohtii yhteyden suurinta teoreettista nopeutta

$$C = B \log_2(1 + S/N) [bit/s]$$

- Kirjan esimerkki puhelinverkosta
 $S/N \sim 40dB$

$$3100 * \log_2(1 + 10000) = 41000 bit/s$$

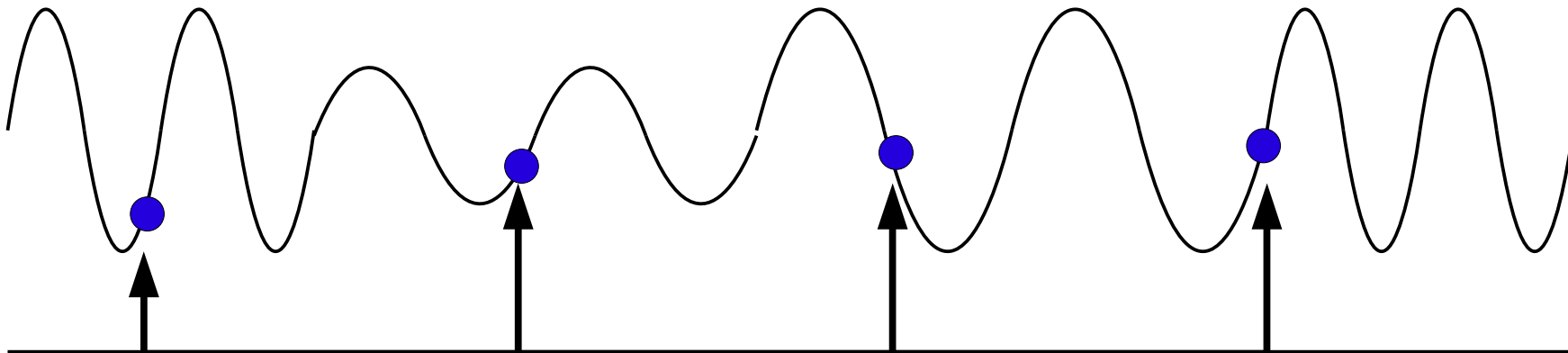
Signaalin lähettäminen

Signaaleista

- Analoginen signaali on ns. jatkuva: kaikki arvot mahdollisia
- Digitaalinen signaali on diskreetti: rajallinen määrä arvoja (2, 256, ...)
- Analogisen signaalin muunto digitaaliseksi pakottaa pyöristämään, jolloin tarkkuus kärsii

Näytteenotto

- Vastaanottajan pitää tietää, millä taajuudella tieto lähetetään
- Näin vastaanottaja pystyy analysoimaan signaalin oikein
- Liian hidas näytteenotto aiheuttaa tiedon menetystä eli *signaalin laskostumisen*



Näytteenotto

- Ruotsalainen Harry Nyqvist esitti, että näytteitä pitää ottaa *vähintään kaksinkertaisella* taajuudella
- Näin ehkäistään tiedon katoaminen
- Esimerkki
 - Puhelinverkko 300-3400 Hz
 - Näytteenottotaajuus väh. 6800Hz
 - Käytännössä sovittu 8000Hz
- Jos näyte sisältää 8 bittiä, saadaan nopeudeksi $8 \times 8000 = 64000$ bit/s

Kvantisointi ja koodaus

- Signaalista otettua näytettä verrataan asteikkoon
 - Tarvittaessa pitää pyöristää lähimpään arvoon $>$ kvantisointivirhe
- Epälineaarinen kvantisointi
 - Ei tasainen asteikko, vaan esim. painottaa käyrän alarajaa

Puhe digitaaliseksi

- Muutetaan analoginen, mekaaninen signaali sähköiseksi
- Otetaan signaalista näytteitä sopivin väliajoin
 - Nyqvistin näytteenottoteoreema
- Muutetaan näytteet biteiksi
 - Kvantisointi ja arvon pyöristys
- Siirretään digitaalinen signaalin vastaanottajalle

Digitaalitekniikan hyöty

- Kohinan ja häiriöiden sieto paranee
- Vahvistamisen sijaan digitaalinen signaali voidaan tunnistaa ja luoda uudestaan (eli regeneroida)
- Pitemmät siirtoyhteydet
- Digitaaliset laitteet luotettavampia, edullisempia, kuluttavat vähemmän energiaa
- Sopivat yhteen tietotekniikan kanssa
- Mahdollistaa kehittyneitä kanavointitekniikoita > lisää kapasiteettia

Yksiköt

- Käytössä on kaksi järjestelmää, 10- ja 2-järjestelmät (tietoliikenne vs. tietotekniikka)
- Nopeudet ilmoitetaan yleensä bit/s tai bps
- Baudi (Bd) termiä käytetään myös, mutta se ilmoittaa symbolinopeuden
- Yksiköt eroavat, esim.

kilo (K) $10^3 = 1000$

mega (M) $10^6 = 1000000$

giga (G) $10^9 = 1000000000$

kibi (Ki) $2^{10} = 1024$

mebi (Mi) $2^{20} = 1048576$

gibi (Gi) $2^{30} = 1073741824$

Moduloointia

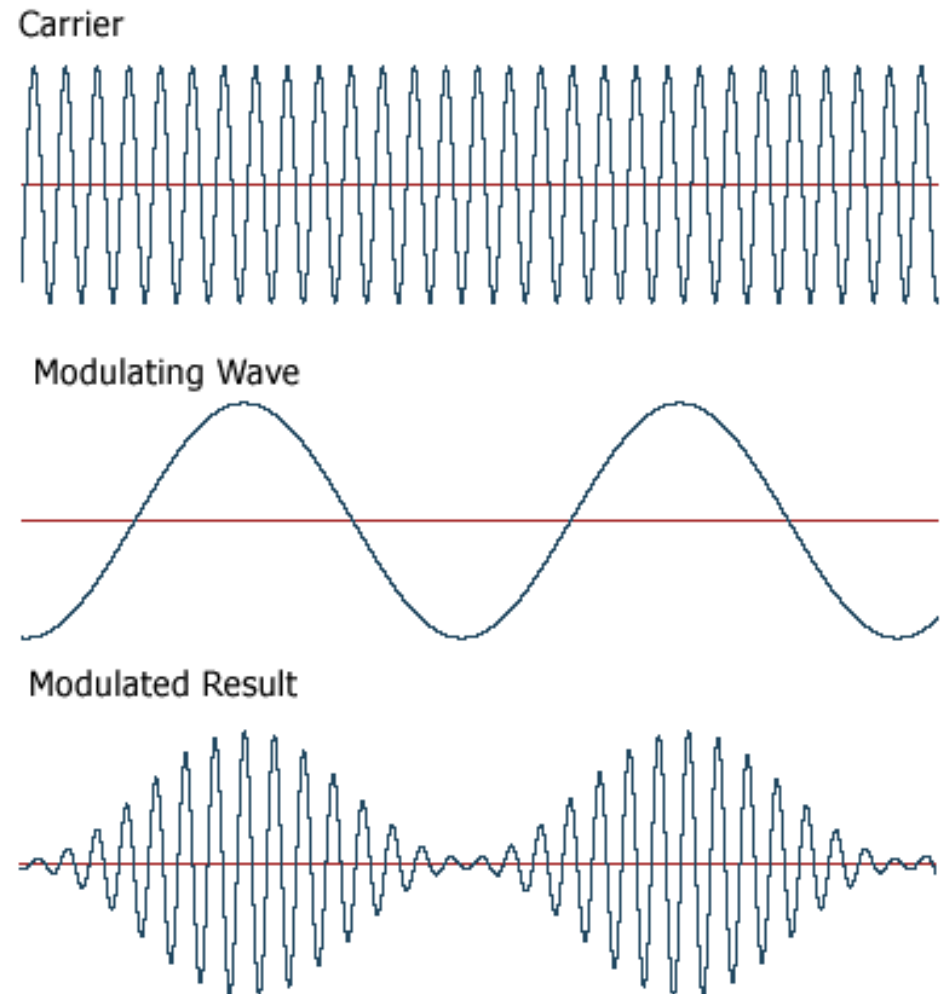
Modulointi

- Tarkoittaa siirrettävän informaation lisäämistä kantoaaltoon
- Kantoaalto on suuritaajuinen signaali, jota pienitaajuinen moduloi
- Kolme tapaa moduloida:
 - Amplitudi
 - Taajuus
 - Vaihe
- Demodulaatio: informaatio palautetaan kantoaallosta
- Monitasoinen modulaatio

Amplitudimodulaatio AM

- Amplitude modulation
- Amplitudi muuttuu lähetettävän tiedon mukaan
- Taajuus vakio
- Kun tieto on digitaalista, käytetään termiä *Amplitude Shift Keying (ASK)*

From Computer Desktop Encyclopedia
© 2007 The Computer Language Co. Inc.

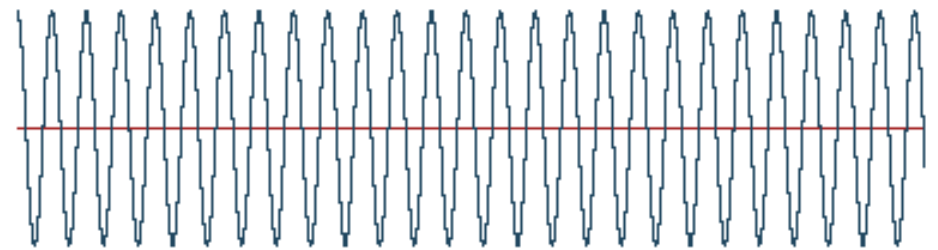


Taajuusmodulaatio FM

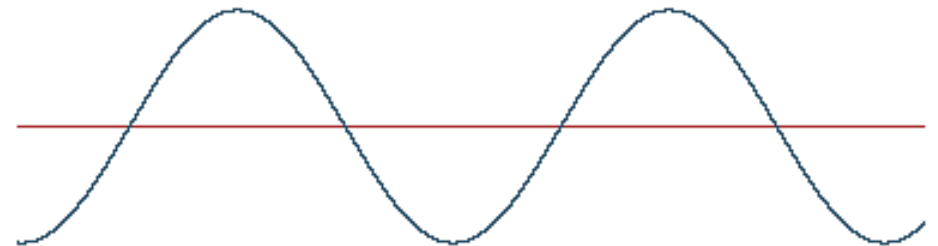
- Frequency modulation
- Kantoaallon taajuus muuttuu tiedon mukaan
- Amplitudi vakio
- Kun tieto digitaalista, käytetään termiä *Frequency Shift Keying (FSK)*

From Computer Desktop Encyclopedia
© 2007 The Computer Language Co. Inc.

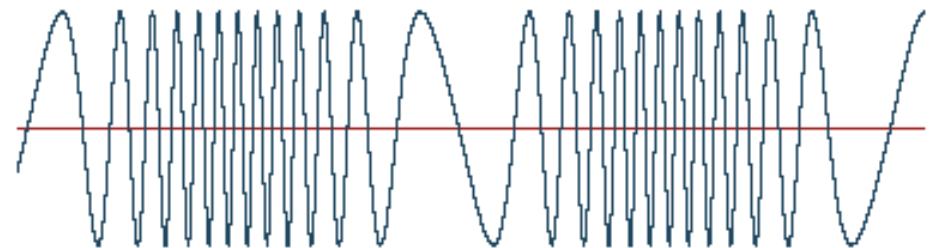
Carrier



Modulating Wave



Modulated Result

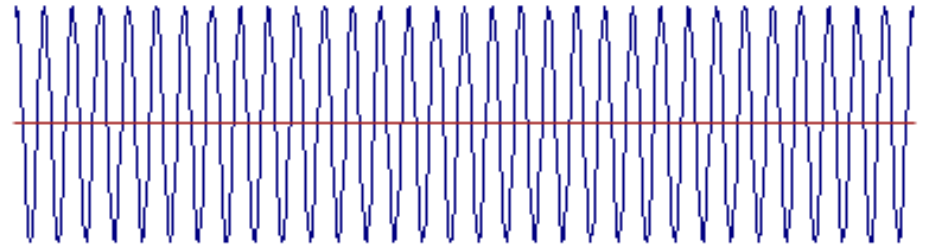


Vaihemodulaatio PM

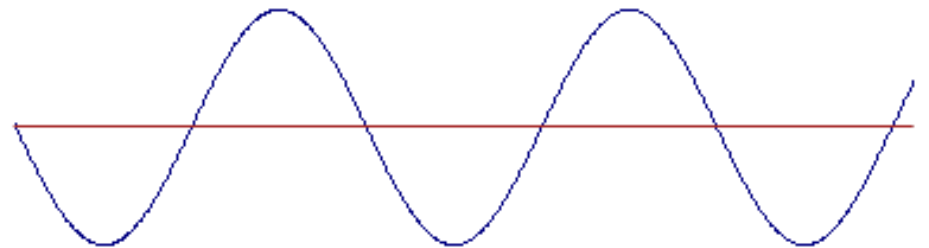
- Phase modulation
- Tieto muuttaa kanta-aallon vaihetta
- Näyttää FM:ltä
- Erona se, miten vastaanotettua signaalina tulkitaan

From Computer Desktop Encyclopedia
© 2007 The Computer Language Co. Inc.

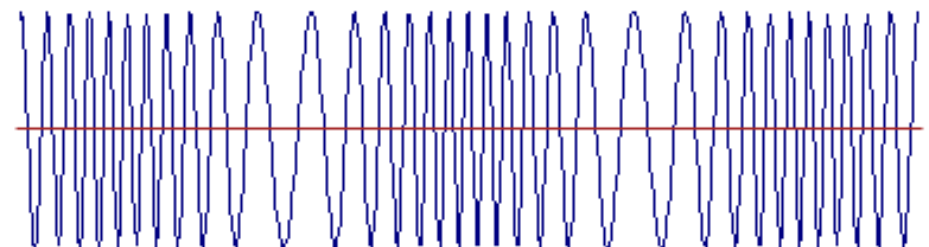
Carrier



Modulating Wave



Modulated Result

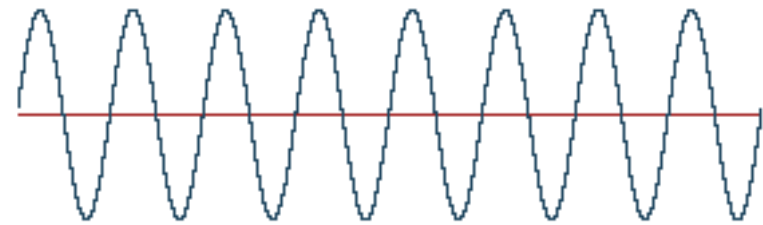


Phase Shift Keying (PSK)

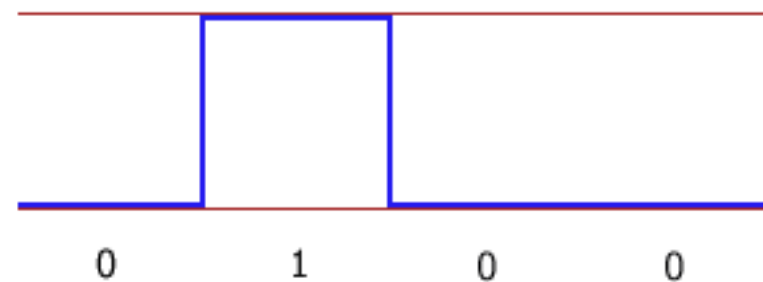
- Käytössä erityisesti digitaalisessa tiedonsiirrossa
- Kantoaallon vaihe muuttuu kun bitti vaihtuu

From Computer Desktop Encyclopedia
© 2007 The Computer Language Co. Inc.

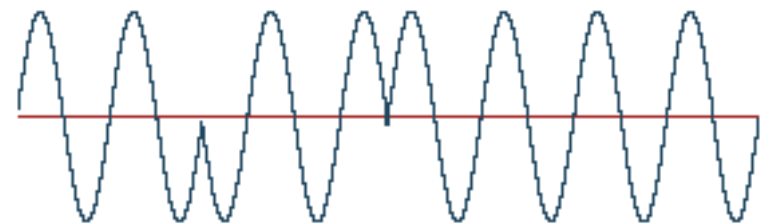
Carrier



Modulating Wave (digital)



Modulated Result



Kanavointia

Kanavointi

- Tapa siirtää samalla yhteydellä (johto, radio) useita hyötysignaaleja
- Eri tapoja
 - Taajuuskanavointi (FDM)
 - Aikajakoinen (TDM)
 - Aallonpituusjakoinen (WDM)
 - Koodijakoinen (CDM)
- Tapoja voi myös yhdistellä

Taajuusjakoinen kanavointi

- Taajuusalue jaetaan useisiin viipaleisiin eli kanaviin
- Jokaisella kanavalla oma kantoaalto jota moduloidaan siirrettävällä tiedolla
- Esimerkkejä
 - Analogiset puhelinyhteydet
 - Radio- ja televisiosignaali
 - Langaton lähiverkko (WLAN)

Aikajakoinen kanavointi

- Lähetetään useista eri signaaleista otettuja näytteitä vuorotellen mutta kuitenkin samalla taajuudella
- Yksi kanava on tietyn väliajoin vastaanotettu joukko bittejä
- Esimerkiksi GSM:ssä yksi taajuus kuljettaa 8 puhe- tai datakanavaa

Aallonpituusjakoinen kanavointi

- Samassa valokuidussa välitetään useita kanavia erivärisillä valoilla eli eri valon aallonpituuksilla
- Moninkertaistaa esim. Atlantin ylittävien valokuitujen kapasiteetin ilman uusien kaapeleiden vetämistä
- Vastaa taajuusjakoista kanavointia

Koodijakoinen kanavointi

- Koodijakoissa kanavoinnissa sama taajuuskaistaa käyttävät signaalita koodataan omalla koodillaan
- Vain koodin haltija pystyy erottelemaan lähetyksestä oman tietonsa
- Käytetään erityisesti 3. sukupolven matkapuhelinverkoissa

Esimerkki: GSM-verkko

- GSM verkoille on allokoitu eri taajuusalueita
- Alue on jaettu 200kHz:n kanaviin, ts. taajuusjakoisesti
- Näiden sisällä käytetään lisäksi aikajakoista kanavointia: 8 kanavaa per taajuuskanava
- Kanavia kahdenlaisia:
 - Ohjauskanavia
 - Käyttäjien tiedon välityskanavia

Lähetttämisen ohjaus

Rinnakkain vai peräkkäin

- Bittejä voidaan lähettää rinnakkain tai peräkkäin (tietok. vs. tietol.)
- Rinnakkain
 - Useampi johdin vierekkäin
 - Jokainen bitti omassa johtimessa
 - Esim. tietokoneen sisäiset väylät
- Peräkkäin
 - Bitti kerrallaan yhdessä johtimessa
 - Halvempaa kuin rinnakkainen siirto
 - Tietoliikenne käytännössä aina

Tahdistus

- Vastaanottajan tiedettävä, koska bitti alkaa ja loppuu
- Jos näytteitä otetaan liian usein tai liian harvoin, syntyy virheitä
- Näyte otettava bitin keskikohdasta
- Tahdistusta ylläpidettävä jatkuvasti, sillä laitteiden kellot eivät aina ole tarpeeksi tarkkoja

Synkroninen vs. asynkroninen

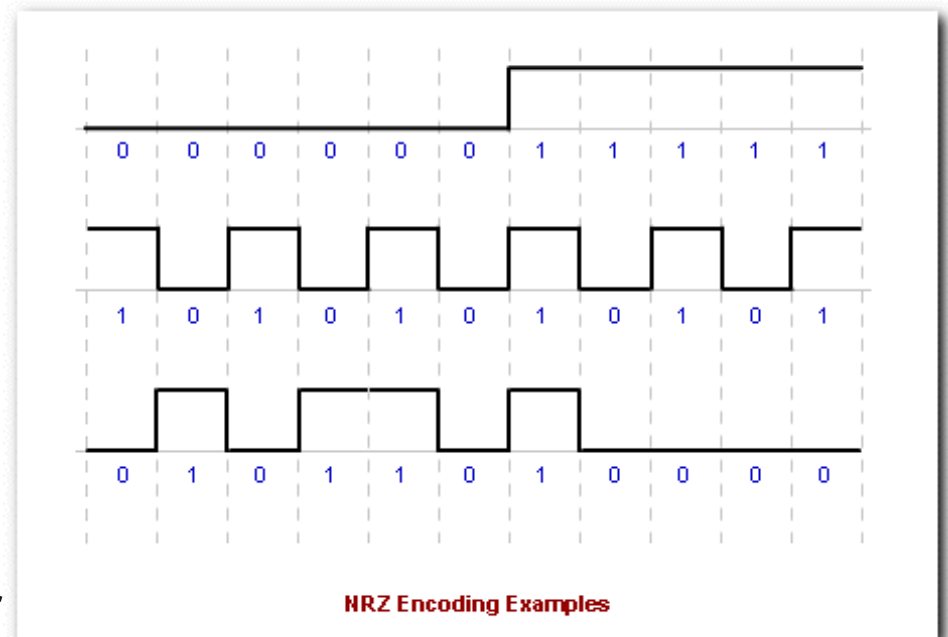
- Synkroninen siirto
 - Kellojen tahdistus siirron alussa
 - Linjalla lähetetään tyhjiä bittejä vaikka tietoa ei olisi
 - Säilyttää bittitahdin suurilla nopeuksilla
- Asynkronen
 - Bittitahti sovitaan siirron alussa
 - Vastaanottaja käynnistyy 1. bitillä
 - Siirron lopussa lopetusbittejä
 - Sopii: Lyhyet, epätasaiset siirrot

Johtokoodaus

- Digitaalisesa siirrännässä
- Määrää bittien sähköisen esitysmuodon
- Helpottaa vastaanottajaa tahdistuksen säilyttämisessä, kun jännitetaso muuttuu usein
- Erilaisia tapoja käyttää jännitettä
- Yleensä käytetään kahta jännitettä (+/-), joita vaihdellaan sovitun kuvion mukaan

NRZ-koodaus

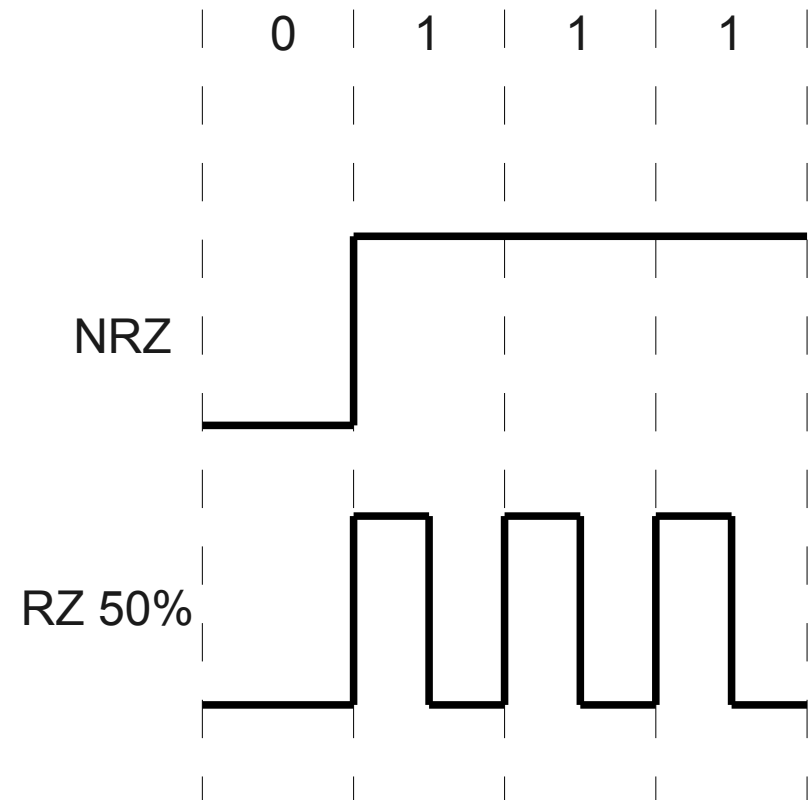
- Non-return-to-zero
- Jännite ylhäällä:
1 bitti
- Jännite alhaalla:
0 bitti
- Ongelmana pitkät
0- ja 1-bittien
sarjat, jonka
aikana synkronoin-
ti voi pettää



Copyright Folder 101

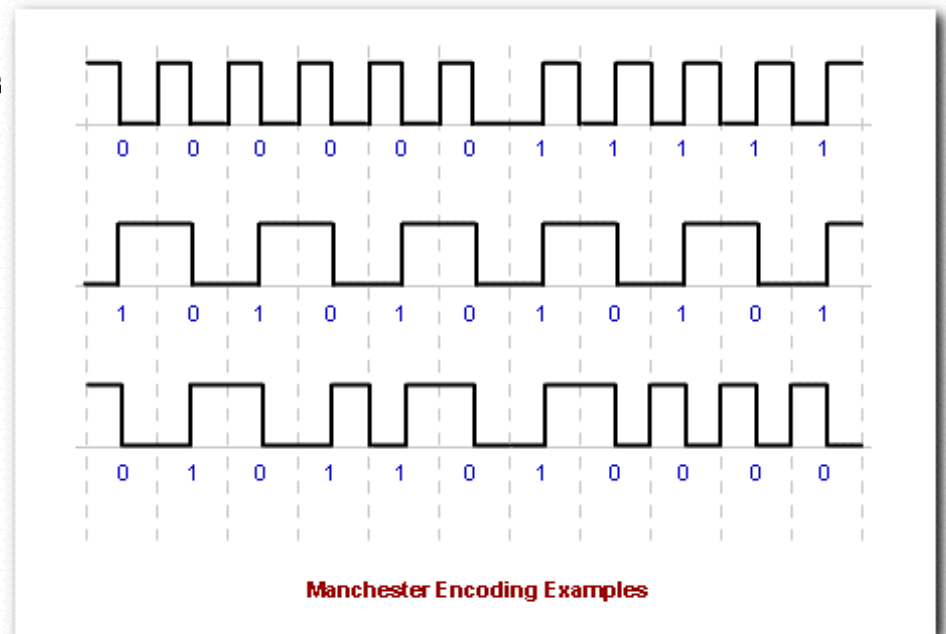
RZ-koodaus

- Return-to-zero
- Eroaa edellisestä siten, että 1-bittien jännite lasketaan jossain vaiheessa takas alas
- RZ 50%: lasku puolivälissä
- Pitkät 0-bittien sarjat edelleen ongelma



Manchester koodaus

- Edelliset ongelmat ratkaistu siten että jännitettä muutetaan jokaisen bitin kohdalla:
 - 1 bitti: + > -
 - 0 bitti: - > +
- Helpottaa tahdistusta
- Käytössä esim. Ethernet lähiverkoissa



Copyright Folder 101

Virheenkorjaus

- Tiedonsiirrossa tapahtuu virheitä
- Bitit voivat muuttua matkalla
- Erilaisia menetelmiä tarkistaa tiedon eheys:
 - Pariteettitarkistus
 - Kaiutus
 - Tarkistussumma

Virheenkorjaus

- Pariteettitarkistuksessa jokaisen merkin perässä pariteettibitti > merkin bittien summa parillinen tai pariton (sovittu etukäteen)
- Kaiutuksessa vastaanottaja lähettää saamansa datan takaisin tarkastettavaksi
- Tarkistussumma lasketaan jollain algoritmilla suuremmasta joukosta bittejä, lähettäjä lisää viestiin, vastaanottaja tarkistaa
- Tunnetuin tiivistealgoritmi *CRC*

Vuonohjaus

- *Kättelyvaiheessa yleensä sovitaan yhteyden asetuksista*
- *Vuonohjauksella vastaanottaja säättää lähettäjän lähetysnopeutta (estää lähettämästä liian nopeasti)*
- *Ohjaukseen erilaisia tapoja, laitteista riippuen, esim.*
 - *Pehmeä: tiedonsiirtolinjalla lähetetään X-ON/X-OFF merkkejä*
 - *Kova: käytetään erillistä piiriä ja johdinta*

Mitä pitäisi ymmärtää?

- Desibeli
- Shannonin teoreema
- Näytteenotto
- Modulointi (AM, FM, PM)
- Kanavointi (F/T/W/CDM)
- Tahdistus ja koodaus
- Virheenkorjaus