

S-38.1105
Tietoliikennetekniikan
perusteet

23.1.2008

Jukka Manner
Teknillinen korkeakoulu

1

Luento 3
Signaalin siirtäminen
Tiedonsiirron perusteita

23.1.2008

Jukka Manner
Teknillinen korkeakoulu

2

Luennon ohjelma

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

3

Termejä, konsepteja

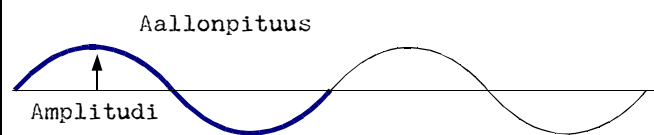
4

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

5

Ääni



6

Ääni

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

7

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

8

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)

9

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

10

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

11

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=40dB

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

12

Signaalin lähettäminen

13

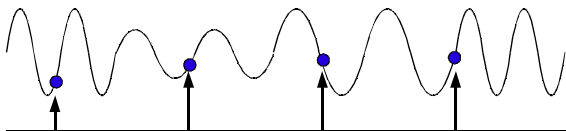
Signaaleista

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

14

Näytteenotto

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



15

Näytteenotto

- Ruotsalainen Harry Nyquist 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

16

Kvantisointi ja koodaus

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

17

Puhe digitaalseksi

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

18

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 vähemmät energia
- Sopivat yhteen tietotekniikan kanssa
- Mahdollistaa kehittyneitä kanavointitekniikoita > lisää kapasiteettia

19

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)	$10^3 = 1000$	kibi (Ki)	$2^{10} = 1024$
mega (M)	$10^6 = 1000000$	mebi (Mi)	$2^{20} = 1048576$
giga (G)	$10^9 = 1000000000$	gibi (Gi)	$2^{30} = 1073741824$

20

Modulointia

21

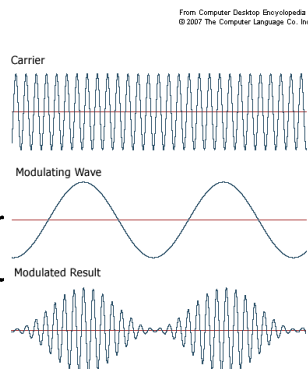
Modulointi

- Tarkoittaa siirrettävän informaation lisäämistä kanta-aaltoon
- Kanta-aalto on suuritaajuinen signaali, jota pienitaajuinen moduloi
- Kolme tapaa moduloida:
 - Amplitudi
 - Taajuus
 - Vaihe
- Demodulaatio: informaatio palautetaan kanta-aallosta
- Monitasoinen modulaatio

22

Amplitudimodulaatio AM

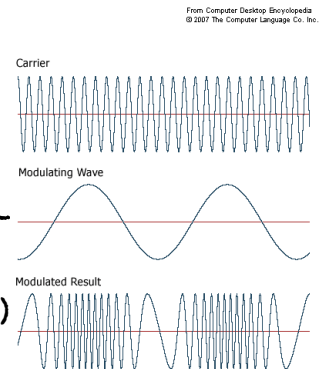
- Amplitude modulation
- Amplitudi muuttuu lähetettävän tiedon mukaan
- Taajuus vakio
- Kun tieto on digitaalista, käytetään termiä *Amplitude Shift Keying* (ASK)



23

Taajuusmodulaatio FM

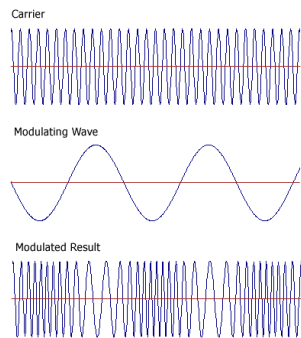
- Frequency modulation
- Kanta-aallon taajuus muuttuu tiedon mukaan
- Amplitudi vakio
- Kun tieto digitaalista, käytetään termiä *Frequency Shift Keying* (FSK)



24

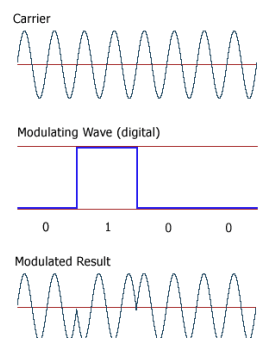
Vaihemodulaatio PM

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



Phase Shift Keying (PSK)

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



Kanavointia

27

Kanavointi

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

28

Taajuusjakoinen kanavointi

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

29

Aikajakoinen kanavointi

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

30

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

31

Koodijakoinen kanavointi

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

32

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

33

Lähetämisen ohjaus

34

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

35

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

36

Synkroninen vs. asynkroninen

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

37

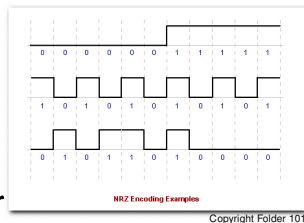
Johtokoodaus

- Digitaalisessa 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

38

NRZ-koodaus

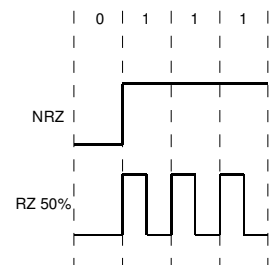
- Non-return-to-zero
- Jännite ylhäällä: 1 bitti
- Jännite alhaalla: 0 bitti
- Ongelmana pitkät 0- ja 1-bittien sarjat, jonka aikana synkronointi voi pettää



39

RZ-koodaus

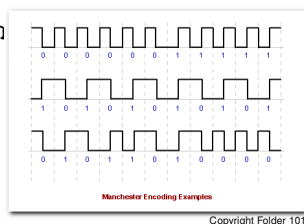
- Return-to-zero
- Eroaa edellisestä siten, että 1-bittien jännite lasketaan jossain vaiheessa takas alas
- RZ 50%: lasku puolivälissä
- Pitkät 0-bittien sarjat edelleen ongelma



40

Manchester koodaus

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



41

Virheenkorjaus

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

42

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*

43

Vuonohjaus

- *Kättelyvaiheessa* yleensä sovitaan yhteyden asetuksista
- *Vuonohjauksella* vastaanottaja säätelee 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

44

Mitä pitäisi ymmärtää?

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

45