

5. Siirtoyhteyskerros

linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun

- bitit sisään => bitit ulos

- ongelmia:

- siirtovirheet
 - havaitseminen
 - korjaaminen
- solmun kapasiteetti
 - vuonvalvonta
- yhteisen kanavan käyttö

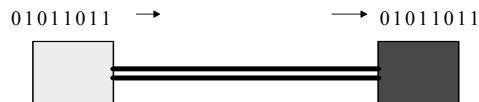


5.1. Kaksipisteyhteydet

Virhevalvonta

- * virheiden havaitseminen
- * virheiden korjaus

Vuonvalvonta



Bittivirta \Leftrightarrow kehys

- **tavoite**
 - bittivirheiden hallinta
 - muuttuu
 - katoaa
 - monistuu
- **bittivirta kehyksinä**
- **kehys tarkistettavissa**
 - tarkistustietoa

Kehysten kuljetus

- **tavoite**
 - kaikki kehykset
 - kukin kehys virheettömästi
 - lähetysjärjetyksessä
- **vastaanottaja kertoo lähettäjälle**
 - **ACK: kehys vastaanotettu ok**
 - tietty kehys
 - kaikki kehykset tähän asti
 - **NAK: kehyksessä vikaa => lähetettävä uudelleen**
 - **Saako lähettää lisää vai pitääkö keskeyttää**
 - vuonvalvonta

Virheet

- **Kahdenlaisia virheitä:**
 - yhden bitin virheet
 - usean peräkkäisen bitin vääristyminen (burst error)
- **Virheiden esiintymistiheys**
 - BER (bit error rate)
 - mitä suurempi BER, sitä lyhyempiä kehyksiä kannattaa käyttää

Missä virhe hoidetaan?

- **kuittaava linkkikerros havaitsee virheet ja korjaa ne**
- **yhteydetön, kuittaamaton & virhe**
=> **kuljetuskerros havaitsee ja korjaa**
- **ja jos ei, niin sovelluskerros havaitsee ja korjaa**
- **ja jos ei, niin asiakas havaitsee ja korjaa**

Virheiden havaitseminen ja korjaaminen

Virheiden takia dataan lisäinformaatiota:

- **virheen korjaamiseksi** (error-correcting code, forward error correction (FEC))
 - lisäinformaatiota niin paljon, että vastaanottaja sekä havaitsee että kykenee itse korjaamaan virheen
- **virheen havaitsemiseksi** (error-detecting code, feedback/backward error control)
 - lisäinformaatiota, jotta vastaanottaja havaitsee virheen tapahtuneen => korjauksena uudelleenlähetys

Virheen korjaus/havaitseminen

- **virheen korjaava koodaus**
 - kallis koko ajan
 - paljon lisäinformaatiota
 - rajoitettu korjauskyky
 - esim. kokonaan kodonnut kehys
- **virheen havaitseva koodaus**
 - virheen sattuessa kallis
 - uudelleen lähettäminen maksaa
 - uudelleen lähettäminen on hidasta

Virheen korjaus

- Käytetään esim.
 - CD- ja DVD-levyissä, digitaalitelevisiossa
 - nopeissa modeemeissa, kannettavissa puhelimissa
 - satelliittiyhteyksissä, avaruusluotaimissa
- Esimerkkejä
 - Hamming-pariteettitarkistus (Tito-kurssilla)
 - pystyy korjaamaan yhden virheellisen bitin
 - virheryöpyyn, jos se jaetaan yhden bitin virheiksi
 - Reed-Solomon -koodit
 - lohkokodeja , jotka pystyvät korjaamaan virheryöppyjä

Virheen havaitseminen

- Pariteettibitti
 - parillinen pariteetti
 - pariton pariteetti
- horisontaaliset ja vertikaaliset pariteetit
- Internet tarkistussumma
- CRC (Cyclic redundancy code (tai check))
 - yleisesti käytetty virheen paljastusmenetelmä
 - perustuu polynomien aritmetiikkaan (modulo2-aritmetiikkaan, XOR)
 - useita tarkistusbittejä => havaitaan usean bittivirheen ryöppy

Pariteetti

- **esimerkki yksinkertaisesta virheen havaitsevasta koodista**
- **jokaiseen merkkiin lisätään yksi ylimääräinen ns. pariteettibitti**
 - lisäyksen jälkeen kaikissa merkeissä on parillinen (tai jos niin sovitaan pariton) määrä ykkösiä
- **paljastaa kaikki yhden bitin virheet**
 - kehyksen pituudesta riippumatta
- **ei paljasta kahden bitin virheitä**

Pariteettibitin käyttö

- **erityisesti asynkronisessa tiedonsiirrossa merkkejä siirrettäessä**
- **käytännössä paljastaa noin puolet virheellisistä bittijonoista**
 - esim. modeemeissa syntyy useita virheitä
 - linjahäiriöt aiheuttavat usein pitkiä virheryöppyjä

Horisontaaliset ja vertikaaliset pariteetit

- järjestetään bittijono kaksikulotteiseen taulukkoon
- lasketaan pariteetti jokaiselle vaaka- ja pystyriville

| | | | |
|----------------|--|----------|-----------------|
| 1001010 | | 1 | |
| 0111010 | | 0 | |
| 1110001 | | 0 | horisontaaliset |
| 1000111 | | 0 | pariteetit |
| <u>0011001</u> | | <u>1</u> | |
| 1011111 | | 0 | taulukon |
| | | | pariteetti |
| | | | vertikaaliset |

Virheiden havaitseminen

- Ei löydä lyhyitä virheryöppyjä, joissa neljä bittiä vaihtuu sopivasti

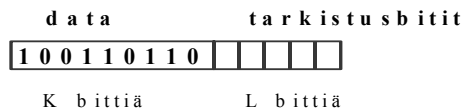
1 0 0 1 0 1 0
0 1 0 1 0 1 0
1 1 1 0 0 0 1
1 0 0 0 1 1

Internetin tarkistussumma

- lasketaan 16-bittisten sanojen yhden komplementit yhteen
- otetaan summasta yhden komplementti
- käytetään Internet-protokollissa
 - UDP- ja TCP -protokollissa
- monia virhekombinaatioita jää havaitsematta
- riittävän hyvä, jos virheitä vähän

CRC:n perusidea

- tarkistusavain (virittäjä, virittäjäpolynomi)
 - bittejä yksi enemmän kuin tarkistusbittejä
 - lähettäjä ja vastaanottaja tuntevat
- lähettäjä
 - laskee lähetettävälle datalle tarkistusavaimen avulla tarkistusbitit ja liittää ne kehykseen
- vastaanottaja
 - tarkistaa, onko koko saapunut kehys (data + tarkistusbitit) pysynyt muuttumattomana



Esimerkki: data = 101110, virittäjä = 1001,

(polynomina $X^{**3} + 1$), tarkistusbittejä 3

Lähetettävä data = 101110??? tarkistusbitit

| | | |
|------|-----------------------|--|
| | 101011 | |
| | ----- | |
| 1001 | 101110000 | |
| | 1001 | |
| | ----- | |
| | 1010 | |
| | 1001 | |
| | ----- | |
| | 1100 | |
| | 1001 | |
| | ----- | |
| | 1010 | |
| | 1001 | |
| | ----- | |
| | 0011 = tarkistusbitit | |

**Modulo 2-
aritmetiikka:**
 $1+1 = 0$ (XOR)

Lähetetään: 101110 011

Vastaanottaja: jakaa saamansa kehyksen virittäjällä. Kehys on ok, jos jakojäännös on 0!

Standardoituja virittäjäpolynomeja

- CRC-12 = $x^{**12} + x^{**11} + x^{**3} + x^{**2} + x + 1$
- CRC-16 = $x^{**16} + x^{**15} + x^{**2} + 1$
- CRC-32 = $x^{**32} + x^{**26} + x^{**23} + \dots + x^{**4} + x^{**2} + x + 1$

CRC: n virheiden havaitsemiskyky

- kaikki virheryöpyt, joiden pituus < tai = kuin virittäjän
- useimmat virheryöpyt, joiden pituus on suurempi

• CRC-32: $P\{\text{ryöppy} > 33 \text{ havaitaan}\} = 0.9999999998$

– **Huom**

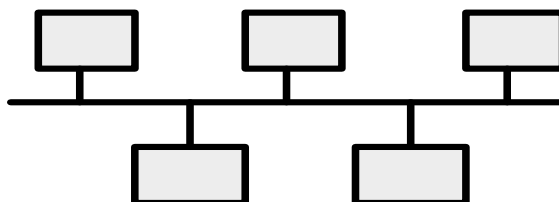
- » Arvioinneissa lähtökohtana ollut täysin satunnainen bittien jakautuminen, mutta todellisuudessa näin ei ole!
- » Joten havaitsemattomien virheiden määrä on arvioitua suurempi.

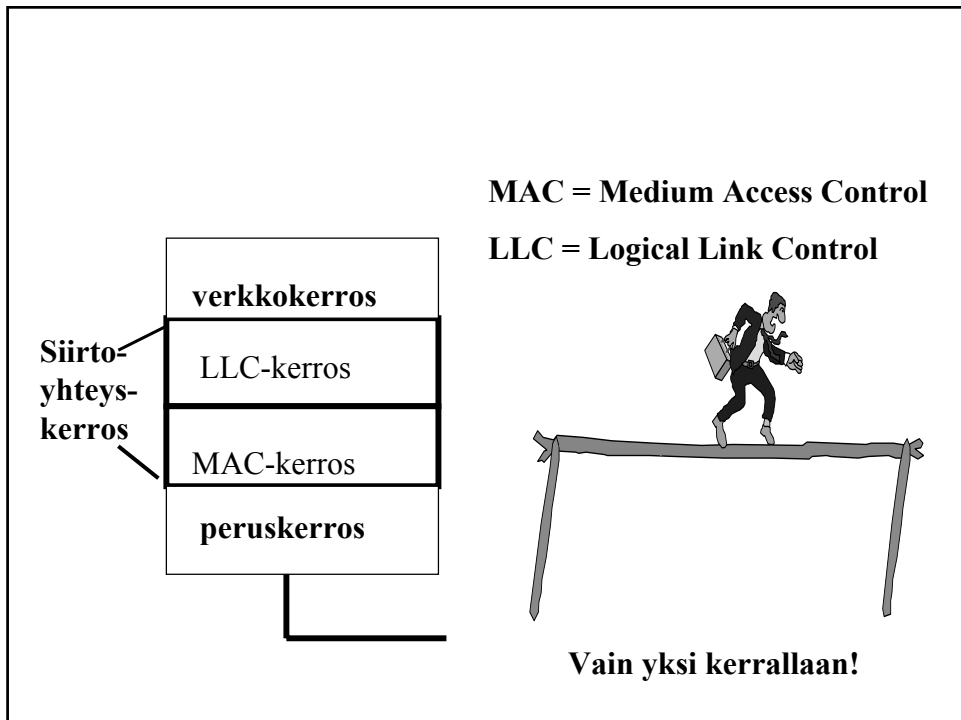
Vuonvalvonta

- **Liukuva ikkuna**
 - ikkunan koko rajoittaa lähettämistä
 - » jos kehyksen numero ei ole ikkunassa, sitä ei oteta vastaan
 - kuittaus siirtää ikkunaa eteenpäin
- **stop-sanoma**
 - Receive not ready

5.3. Yhteiskäyttöinen kanava

- **yleislähetys (broadcast)**
 - » multiaccess channel
 - » random access channel
 - LAN (Ethernet)
 - langaton
- **ongelma: käyttövuoron 'jakelu'**





Eri yhteiskäyttötapoja on hyvin paljon:

- **kilpailu** Aloha, CSMA, **CSMA/CD**
 - 'se ottaa kun ehtii'
- **vuorotellen**: pollaus, vuoromerkki
 - 'sinä ensin ja sitten on minun vuoroni'
- **varaus**: vuorot varataan etukäteen
 - varaukseen käytetään usein kilpailua
- **kanava jaetaan**: TDMA, FDMA, **CDMA**
 - 'käytä sinä tätä puolta ja minä tätä toista'

Törmäys

- yksi yhteinen kanava lähettäjille
 - lähetys onnistuu vain, jos yksi lähettää
- Jos useampi kuin yksi lähettää, syntyy **yhteentörmäys** (collision)
 - kaikki törmänneet sanomat tuhoutuvat ja ne on lähetettävä uudelleen
 - vaikka törmäisivät vain yhden bitin verran
 - **kaikkien havaittavissa**
 - LAN: törmäyssignaali
 - satelliittikanava: kuuntelee oman lähetyksensä
 - WLAN: ilmoitus vastaanottajalta

Aika

- **jatkuva aika**
 - lähetykset voivat alkaa milloin vain
 - ei mitään synkronointi, ei yhteistä aikaa
- **viipaloitu aika** (slotted time)
 - aika lokeroitu aikaviipaleiksi
 - lähetys voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
 - aikaviipaleessa
 - ei kukaan lähetä => hukkaan
 - yksi lähetys => ok
 - useita lähetyksiä => törmäys
 - vähentää törmäyksiin (=hukkaan) menevää aikaa
 - törmäykset täydellisiä

Lähetyskanavan kuuntelu (carrier sense)

- käynnissä olevan lähetyksen havaitseminen
 - asema tutkii, onko kanava jo käytössä
 - ennen lähetystä tutkitaan, onko joku muu lähettämässä
 - jos on, ei lähetetä
 - yleensä lähiverkot (CSMA)
 - asema ei tutki kanavan käyttöä
 - asema lähettää aina kun haluaa
 - lähettämisen jälkeen havaitaan onnistuiko
 - esim. satelliitilähetys

Kanavan kuuntelu

- ei aina paljasta jo alkanutta lähetystä
 - etenemisviipeen takia
- tai ole järkevää
 - esim. satelliittikanavan kuuntelu ei paljasta sitä, onko joku toinen maaseama jo aloittanut lähetyksen
 - langattomassa lähiverkossa lähettäjän ympäristön kuuntelu ei kerro sitä, onko vastaanottaja saamassa sanomia muualta

Yleislähetysprotokollia

Esimerkkejä:

- **CSMA/CD** (Aloha, CSMA)
 - mm. Ethernet-verkossa käytetty kilpailuprotokolla
- **CDMA**
 - radiolinjoilla käytetty koodinjakoon perustuva protokolla

ALOHA

- **Hawaiilla, 70-luvulla radiotietä varten**
- **puhdas ALOHA:**
 - **asema lähettää aina, kun sillä on lähetettävää**
 - **ja samalla kuuntelee, onnistuiko lähetys**
 - lähiverkossa törmäys havaitaan 'heti', sillä siirtoviive pieni
 - toisin satelliitilla!
 - **jos törmäys, niin lähettäjä odottaa satunnaisen ajan ja yrittää uudelleen**
 - maksimaalinen tehokkuus ~18%

Viipaloitu ALOHA

- lähetysaika jaettu aikaviipaleiksi
- lähetys voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
- törmäykset täydellisiä
 - » lähetykset samassa aikaviipaleessa
 - » törmäysvaara-aika = yhden aikaviipaleen mittainen
- suorituskyky kaksinkertaistuu
 - maksimi ~ **37%**
 - siis 37% tyhjiä, 37% onnistuneita, 26% törmäyksiä

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- toiminta
 - **kuuntele linjaa ennen lähettämistä**
 - jos linja vapaa lähetä (yleensä)
 - jos linja varattu odota satunnainen aika ja yritä uudelleen
- Suorituskyky:
 - törmäysvaara vain jos asemat lähettävät niin samanaikaisesti, että eivät siirtoviipeen vuoksi havaitse toista lähetystä
 - ongelma, jos siirtoviive on pitkä

CSMA-protokollat

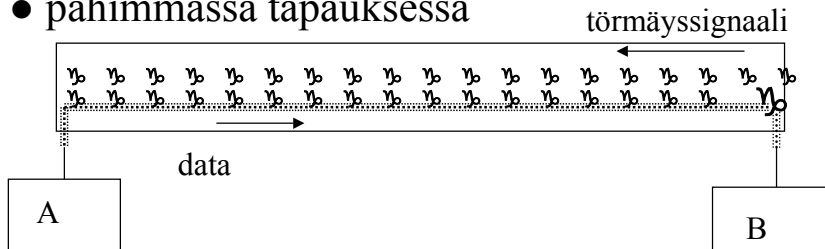
- Useita versioita, jotka hieman eroavat toisistaan
 - miten toimitaan, kun kanava varattu?
 - jäädään odottamaan ja lähetetään heti kanavan vapauduttua => jos useita odottajia, tulee varmasti törmäys
 - luovutaan ja yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua => hukkaa lähetyksvuoroja
 - viipaloitu aika vai ei?
 - vaikka kanava on vapaa, ei silti aina lähetetä
 - lähetys vapaalle väylälle todennäköisyydellä p !

CSMA/CD (Collision Detection)

- keskeyttää lähettämisen heti, kun havaitsee törmäyksen tapahtuneen
 - törmäyksen aiheuttama hukka-aika pienenee
- ‘epävarmuuden aika’ on 2τ , τ on maksimi etenemisviive kahden aseman välillä
- jos törmäys
 - => havaitaan ja lopetetaan lähetys
 - => yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua

Väylää kuunneltava

- pahimmassa tapauksessa



- => kehyksen lähetyksen minimikesto:
2*etenemisviive väylällä

Varausprotokollat

- ei törmäyksiä!
- lähetysvuorot varataan etukäteen
- varausvaihe
 - usein kilpaillaan varauksista
 - törmäyksiä, mutta vähän
- lähetysvaihe
 - kaikki varanneet lähettävät sanomansa
- hyvin paljon erilaisia versioita
 - etenkin satelliittiyhteyksille

Vuorotteluprotokollat

- Pollaus (vuorokysely)
 - isäntäasema antaa vuorotellen muille asemille lähetyksluvan
- Vuoromerkki
 - asemilla kiertää vuoromerkki (token)
 - asema saa lähettää vain kun sillä on vuoromerkki
 - kun asema on lähettänyt tai sillä ei enää ole lähetettävää, se siirtää vuoromerkin seuraavalle

Kanavan jakoprotokollat

- TDMA
 - aikajako
 - asemalla oma aikaviipale
- FDMA
 - taajuusjako
 - asemalla oma taajuusalue
- CDMA
 - koodijako
 - asemalla oma koodi
 - asemat voivat lähettää yhtäaikaan!

CDMA (Code Division Multiple Access)

- **yksi kanava**
 - usea samanaikainen lähetys
 - kukin koko kanavan taajuudella!
- yhden bitin lähetysaika jaetaan pienempiin osiin (aikasiruihin)
 - » 64 tai 128 sirua bittiä kohden
- kullakin asemalla oma 'sirukuvio' 1-bitin lähetykseen
 - » (0-bitti on tämän yhden komplementti)

Esimerkiksi

- aseman A 1-bitti: 00011011
0-bitti: 11100100
- aseman B 1-bitti: 00101110
0-bitti: 11010001
- aseman C 1-bitti: 01011100
0-bitti: 10100011
- aseman D 1-bitti: 01000010
0-bitti: 10111101

Ps. Oikeasti käytetään 64 tai 128 sirua

Kaikki bittikuviot parittain ortogonaalisia

- $A \bullet B = 0 = 1/m \sum A_i B_i$ (sisätulo)
- $A \bullet A = 1$
- $-A \bullet A = -1$
- \Rightarrow yhteissignaalista löydetään eri asemien omat lähetykset

- kukin asema lähettää omat 1-bittinsä ja 0-bittinsä
- kun moni lähettää samanaikaisesti tuloksena on yhteissignaali S.
 - » lähetettyjen signaalien 'summa'
- aseman datan 'purkaminen' yhteissignaalista
 - » $A =$ aseman oma bittikuvio
 - » $S \bullet A$ tuottaa aseman lähettämän bitin
 - kerrottuna bitin aikasirujen lukumäärällä

Esimerkki

» merkintä 1 =1, 0 = -1,

» helpompi laskea yhteen

- $S = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ 4 \ 0)$

- $C = (-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1)$

- $S \bullet C = (2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ -4 \ 0)$
 $= -8 \Rightarrow -1$

- eli C lähetti 0-bitin

5.5 Ethernet-lähiverkko

- **Yleisin lähiverkkoteknologia**
 - **IEEE:n standardoima LAN-verkko**
 - CSMA/CD (kuulosteluväylä)
 - **Muita lähiverkkostandardeja**
 - esim.
 - **Token ring (vuororengas)**
 - **FDDI**
 - **WLAN (langaton lähiverkko)**
- ei käsitellä tällä kurssilla**