

5. Siirtoyhteyskerros

linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun

- bitit sisään => bitit ulos

01011011 → → 01011011

- ongelmia:

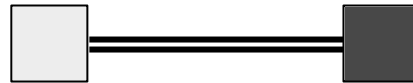
- siirtovirheet

- 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
- satellittiyhteyksissä, avaruusluotaimissa

● Esimerkkejä

- Hamming-pariteettitarkistus (Tito-kurssilla)
 - pystyy korjaamaan yhden virheellisen bitin
 - virheryöpyn, jos se jaetaan yhden bitin virheiksi
- Reed-Solomon -koodit
 - lohkokoodija , 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

1 0 0 1 0 1 0		1	
0 1 1 1 0 1 0		0	
1 1 1 0 0 0 1		0	horisontaaliset
1 0 0 0 1 1 1		0	pariteetit
0 0 1 1 0 0 1		1	
<hr/>			
1 0 1 1 1 1 1		0	taulukon pariteetti
			vertikaaliset
			pariteetit

Virheiden havaitseminen

- Ei löydy lyhyitä virheryöppyjä, joissa neljä bittiä vaihtuu sopivasti

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

Internetin tarkistussumma

- lasketaan 16-bittisiä sanoja 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 tarkistusbitit ja liittää ne kehykseen
- **vastaanottaja**
 - tarkistaa, onko koko saapunut kehys (data + tarkistusbitit) pysynyt muuttumattomana

data	tarkistusbitit
1 0 0 1 1 0 1 1 0	□ □ □ □ □
K bittiä	L bittiä

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 virheröpyt, joiden pituus < tai = virittäjän
- useimmat virheröpyt, joiden pituus on suurempi
 - **CRC-32: P{ryöppy > 33 havaitaan} = 0.999999998**

– Huom

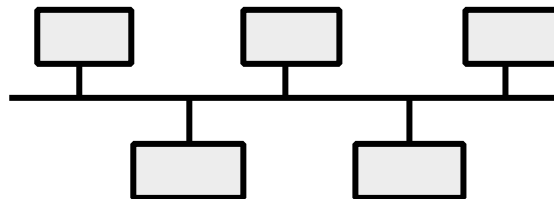
- » Arvioinneissa lähtökohtana ollut täysin satunnainen bittien jakautuminen, mutta todellisuudessa näin ei ole!
- » Joten havaitsemattomien virheiden määrä on arvioitua suurempi.

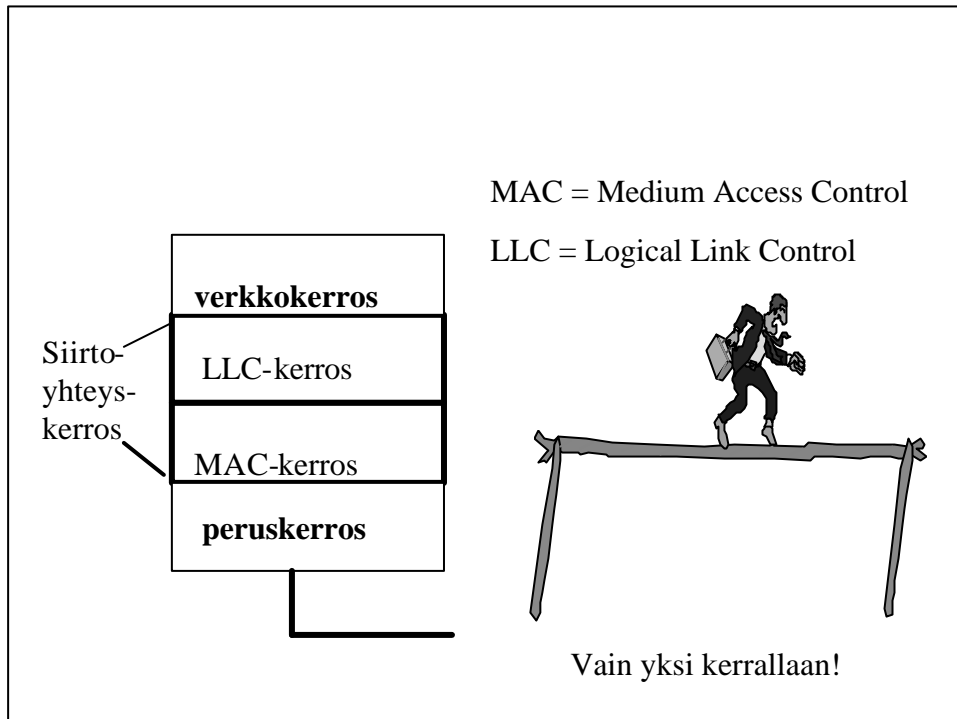
Vuonvalvonta

- 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'
- **kanava jaetaan: TDMA, FDMA, CDMA**
 - 'käytä sinä tätä puolta ja minä tätä toista'

Törmäys

- yksi yhteinen kanava lähettäjiille
- 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 maa-asema 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

- Hawaiiilla, 70-luvulla radiotietä varten
- **puhdas ALOHA:**
 - asema lähettää aina, kun sillä 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?
 - jäädytään 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
 - lähetyks vapaaalle 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 lähetyks
 - => yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua

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 lähetysoikeuden
- 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 • 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 • C = (2 -2 0 -2 0 -2 -4 0)
 - = -8 => -1
- eli C lähetti 0-bitin