

5. Siirtoyhteyskerros

linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun

- bitit sisään => bitit ulos

- ongelmia:

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



11/27/2002

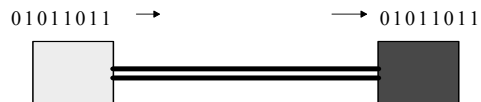
1

5.1. Kaksipisteyhteydet

Virhevalvonta

- * virheiden havaitseminen
- * virheiden korjaus

Vuonvalvonta



11/27/2002

2

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 \Rightarrow 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

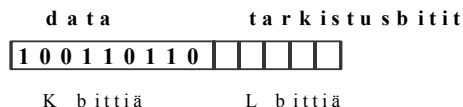
1 0 0 1 0 1 0
0 1 0 1 0 1 0
1 1 1 0 0 0 1
1 0 0 0 1 1

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

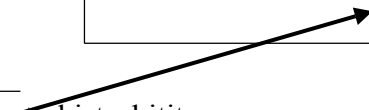
Lähetettävä data = 101110??? tarkistusbitit

	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**

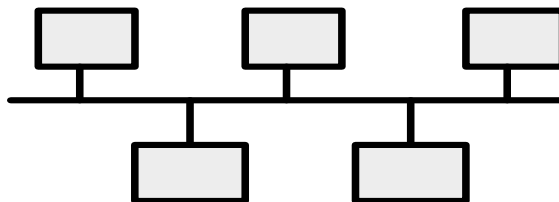
- » Arvioinneissa lähtökohtana ollut täysin satunnainen bittien jakautuminen, mutta todellisuudessa näin ei ole!
- » Joten havaitsemattomien virheiden määrä on arvioitua suurempi.

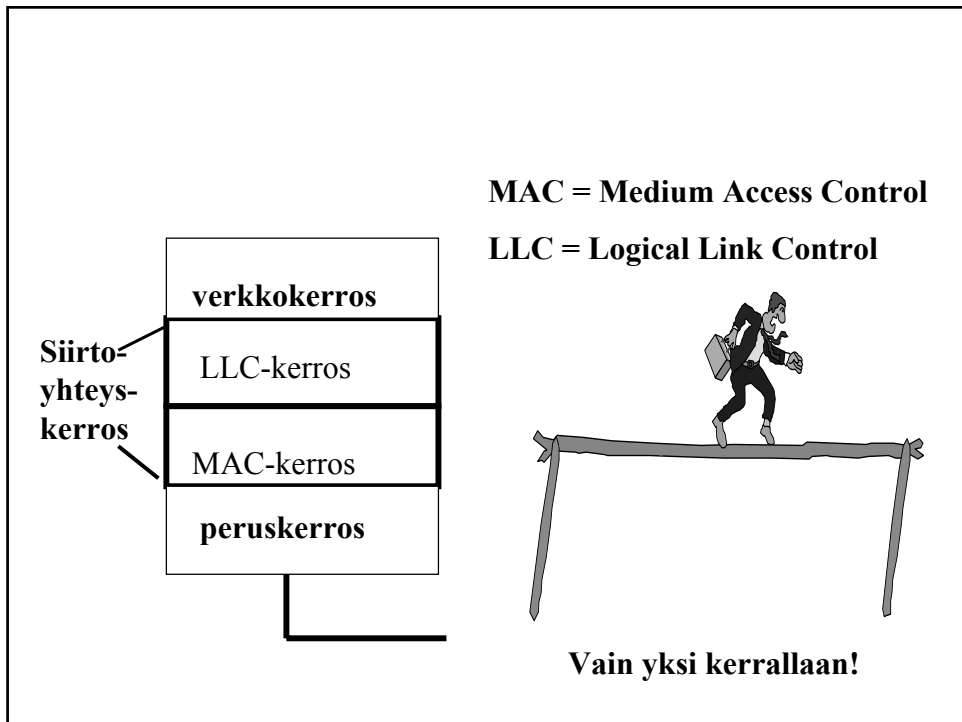
Vuonvalvonta

- **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 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