

## 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

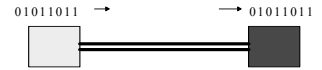
1

## 5.1. Kaksipisteyhteydet

### Virhevalvonta

- \* virheiden havaitseminen
- \* virheiden korjaus

### Vuonvalvonta



11/27/2002

2

## Bittivirta <=>kehys

- tavoite

- bittivirheiden hallinta
  - muuttuu
  - katoaa
  - monistuu

- bittivirta kehyksinä

- kehys tarkistettavissa

- tarkistustietoa

11/27/2002

3

## Kehysten kuljetus

- tavoite

- kaikki kehykset
- kukin kehys virheettömästi
- lähetsjärjetyksessä
- 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

11/27/2002

4

## 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

11/27/2002

5

## 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

11/27/2002

6

## 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 uudelleenlähety

11/27/2002

7

## 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

11/27/2002

8

## 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
    - virheryöpy, jos se jaetaan yhden bitin virheeksi
  - Reed-Solomon -koodit
    - lohkokodeja, jotka pystyvät korjaamaan virheryöppyjä

11/27/2002

9

## Virheen havaitseminen

- **Pariteettibitti**
  - parillinen pariteetti
  - pariton pariteetti
- **horizontaaliset 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

11/27/2002

10

## 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**

11/27/2002

11

## Pariteettibitin käyttö

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

11/27/2002

12

## Horizontaaliset ja vertikaaliset pariteetit

- järjestetään bittijono kaksiulotteiseen taulukkoon
- lasketaan pariteetti jokaiselle vaaka- ja pystyriiville

1001010		1	
0111010		0	
1110001		0	horizontaaliset
1000111		0	pariteetit
0011001		1	
1011111		0	taulukon
			pariteetti
			vertikaaliset

11/27/2002

13

## Virheiden havaitseminen

- Ei löydy 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 1
    
```

11/27/2002

14

## 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

11/27/2002

15

## 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 kehyks (data + tarkistusbitit) pysynyt muuttumattomana

data	tarkistusbitit
1 0 0 1 1 0 1 1 0	□ □ □ □ □
K bittia	L bittia

11/27/2002

16

**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
    
```

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

Lähetetään: 101110 011

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

0011 = tarkistusbitit

## 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  $< \text{tai} =$  kuin virittäjän
- useimmat virheryöpyt, joiden pituus on suurempi
  - CRC-32:  $P\{\text{ryöppy} > 33 \text{ havaitaan}\} = 0.9999999999$

– Huom

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

11/27/2002

18

## Vuonvalvonta

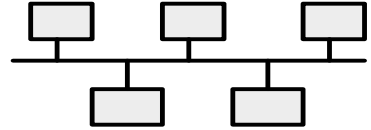
- **Liukuva ikkuna**
  - ikkunan koko rajoittaa lähettämistä
    - » jos kehyksen numero ei ole ikkunassa, sitä ei oteta vastaan
  - kuittaus siirtää ikkunaa eteenpäin
- **stop-sanoma**
  - Receive not ready

11/27/2002

19

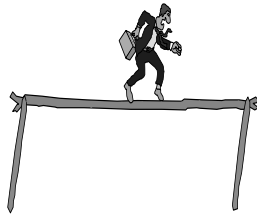
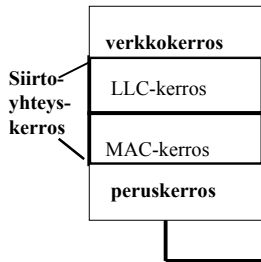
## 5.3. Yhteiskäyttöinen kanava

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



MAC = Medium Access Control

LLC = Logical Link Control



## 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'

11/27/2002

22

## 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