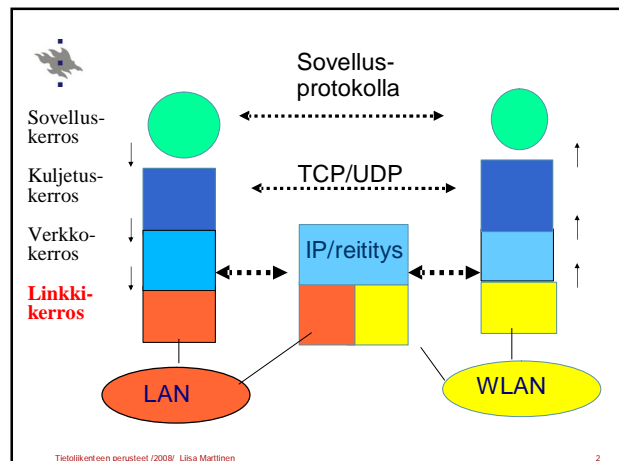


## Tietoliikenteen perusteet

### Linkkikerros

Kurose, Ross: Ch 5.1- 5.6



## Sisältö

- Linkkikerroksen tehtävät
- Virheiden havaitseminen ja korjaaminen
- Yhteiskäyttöisen kanavan varaus
- Osottaminen linkkikerroksella
- Ethernet
- Keskitin ja kytkin



### Oppimistavoitteet:

- Osata selittää linkkikerroksen toiminnallisuus (MAC-osoitteet, bittivirheiden havaitseminen) ja ARP-protokollan käyttö.
- Osata selittää yhteiskäyttöisen siirtokanavan varaus ja käyttö
- Osata selittää, kuinka koneita voi yhdistellä lähiverkoiksi
- Osata selittää reitittimen, kytkimen ja keskittimen erot

## Linkkikerros

### Linkkikerroksen tehtävät

Ch 5.1

## Linkkikerros

- **Laitetoimintoa**
- **Siirtää paketin fyysisestä linkistä pitkän koneelta (solmulta) toiselle**
  - langallinen / langaton
  - bitit sisään, bitit ulos
- **Kapseloi paketin siirtoon sopivaan muotoon**
  - Siirtokehys (frame)
- **Lähiverkossa linkejä voi yhdistää keskittimillä tai kytkimillä**
  - Käytetään fyysisiä osoitteita
  - 'reititystä' ilman IP-osoitteita

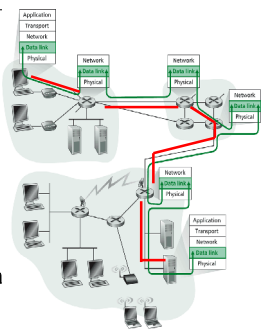


Figure 5.1 • The link layer

## Linkkikerroksen tehtäviä

- **Kehystys (framing)**
  - Kehyksen rakenne ja koko riippuu siitä, millainen linkki on kyseessä
  - Otsake, data, loppuke
- **Kohteen ja lähteen osoittaminen**
  - Yhteiseen linkkiin voi olla liitettyä useita laitteita
  - Käytössä laitetason MAC-osoite (Medium access control)
- **Yhteisen linkin varaus ja käyttö (link access)**
  - Esim. langaton linkki, keskittimiin yhdistetyt linkit
- **Luotettava siirto**
  - Langattomilla linkeillä suuri virhetodennäköisyys
  - Linkkitaso huolehtii oikeellisuudesta
  - Miksi tästä täytyy huolehtia vielä kuljetuskerroksella?
  - Jotkut linkkityypit eivät huolehdi lainkaan!
  - Jos kehys hävitettävä ..

## Linkkikerroksen tehtäviä (2)

### Vuonvalvonta, puskurointi

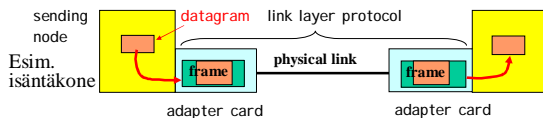
Kytkimessä on useita erinopeuksisia linkkejä

### Virhevalvonta

signaali vaimenee, taustakohina häiritsee, ...  
 Kehyksessä on tarkistustietoa (error detection and correction bits)  
 Vastaanottava solmu korjaa, jos pystyy  
 Jos ei pysty, pyytää uudelleen tai hävittää

### Yksisuuntainen /kaksisuuntainen liikenne

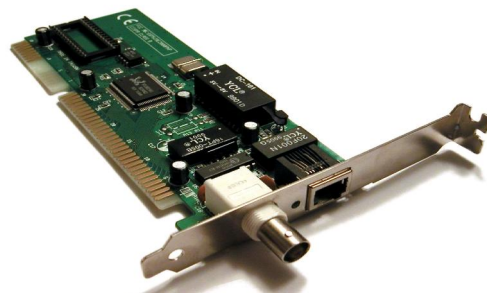
Yksisuuntainen: lähetyvuorojen hallinta



Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

7

## A 1990s Ethernet network interface card.



[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Network\\_card.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Network_card.jpg)

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

8

## Linkkikerros

# Virheiden havaitseminen ja korjaaminen

Ch 5.2

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

9

## Bititason virheet

- Yhden bitin virheitä siellä täällä tai peräkkäisten bittien virheryöppyjä (burst)
- Virheiden esiintymistiheys BER (bit error rate)
  - Mitä suurempi BER, sitä lyhyempiä kehyksiä kannattaa käyttää
- Havaitsemiseksi lisäbittejä
  - feedback/backward error control
- Korjaamiseksi enemmän lisäbittejä
  - Forward error correction (FEC)
  - Esim. CD, DVD, viivakoodit, satelliittiyhteydet, digitelevisio, ...
- Tietoliikenne yleensä tyytyväinen vain havaitsemaan virheet
  - Virheelliset hylätään ja korjauksena on uudelleenlähety

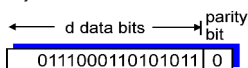
Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

10

## Pariteettitarkistus

### Pariteettibitti

Parillinen vs. pariton pariteetti  
 Virheryöppyssä jopa 50% voi jäädä huomaamatta



### Kaksulottelinen pariteetti

Eriksen horisontaalinen (parillinen) ja vertikaalinen (pariton) pariteetti  
 Pystyy korjaamaan yhden bitin virheen.

### Hamming-koodi

Korjaa yhden bitin virheen

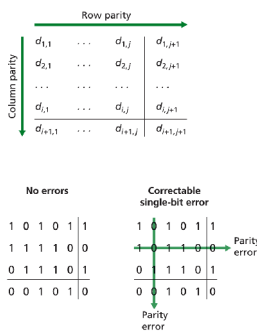


Figure 5.6 Two-dimensional even parity

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

11

## Tarkistussumma

### Internet-checksum

Yhteenlasketaan 16 bitin kokonaisuuksia, yhden komplementti  
 Kuljetuskerros laskee ja tarkastaa UDP- ja TCP-protokollissa  
 Ei ole kovin tehokas; linkkikerros ei käytä

### CRC (cyclic redundancy check)

Yleisesti linkkikerroksella käytetty virheenpaljastusmenetelmä,  
 helppo toteuttaa laitteistotasolla, luotettava  
 Perustuu polynomien aritmetiikkaan  
 tunnetaan myös nimellä polynomikoodi  
 Useita tarkistusbittejä; havaitsee usean bittivirheen ryöpyn.

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

12



## Tätä tavoitellaan

- n Pieni yleisrasite
  - n Kun vain yksi lähettäjä, se pystyy hyödyntämään koko kanavan siirtonopeuden  $R$  bps
- n Tasapuolisuus
  - n Kun  $M$  lähettäjä, kukin saa keskimäärin saman osuuden linjan siirtonopeudesta ( $R/M$  bps)
- n Toimintavarmuus
  - n Yksikään solmu ei ole erikoisasemassa, koordinaattorina
  - n Ei kellojen sykronointia tms
  - n Hajautettu vuoroista sopiminen
- n Kustannustehokkuus
  - n Yksinkertainen ja halpa toteuttaa

## Lähetysvuorojen jakelu

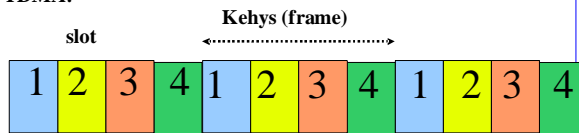
- 1) Kanavanjakoprotokollat (channel partitioning protocol)
  - Jaa kanavan käyttö "viipaleisiin" (time slots, frequency, code)
  - Kukin solmu saa oman viipaleensa
  - TDMA, FDMA, CDMA
  - "käytä sinä tätä puolta, minä tätä toista"
- 2) Kilpailuprotokollat (random access protocols)
  - "Se ottaa, joka ehtii."
  - Jos sattuu törmäys, yritä myöhemmin uudelleen.
  - Aloha, CSMA, CSMA/CD
- 3) Vuoronantoprotokollat (taking-turns protocols)
  - Jaa käyttövuorot jollakin sovitulla tavalla: pollaus, vuoromerkki, ...
  - "Minä ensin, sinä sitten."

## 1) Kanavanjako: TDMA

### TDMA: Time Division Multiple Access

- n Anna aikaviipale kullekin kanavaan kytketylle vuorotellen
- Koko kanava on hetken yksityiskäytössä =>  $R/M$  bps
- Ehtii lähettää yhden kehyksellisen (data frame)
- Vaikka lähetettävää ei olisikaan, aikaviipale on silti varattuna

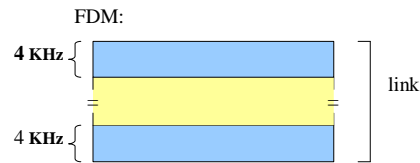
#### TDMA:



## Kanavanjako: FDMA

### FDMA (Frequency Division Multiple Access)

- Jaa kanavan taajuusalueet kanavan käyttäjien (varaajien) kesken
- n Vain osa kanavasta yksityisessä käytössä =>  $R/M$  bps
- n Varattuna, vaikka ei olisi lähetettävää



## Kanavanjako: CDMA

### CDMA (Code Division Multiple Access)

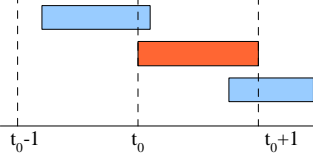
- Radiolinjoilla käytettävä koodinjakoon perustuva protokolla
  - n Matkapuhelimet, ...
  - n Kullakin asemalla oma tapansa koodata bitit 1 ja 0 (oma sirukoodi)
- n Asemat voivat lähettää yhtäaikaan koko kanavan taajuudella
  - n Kaikkien signaalit saavat yhdistyä linkillä
  - n Asemat pystyvät erottelemaan yhteissignaalista itselleen kuuluvat bitit (oma sirukoodi)
- n Tarkat ajoitukset

## 2) Kilpailuprotokollat

- n Kun asema haluaa lähettää
  - n Se kuuntelee ensin, onko joku muu asema jo lähettämässä
  - n Jos ei, lähettää heti täydellä nopeudella
- n Jos kaksi aloittaa yhtäaikaan => törmäys
  - n Odota satunnainen aika ja yritä uudestaan (random access)
- n Protokolla määrittää
  - n Miten törmäys huomataan
  - n Miten törmäyksestä toivutaan
- n Esim.
  - n ALOHA, viipale ALOHA (slotted ALOHA)
  - n CSMA (carrier sense multiple access)
  - n CSMA/CD (with collision detection)
  - n CSMA/CA (collision avoidance)

## Aloha

- n Hawajilla, 70-luvulla radiotietä varten
- n Lähetä heti, kun on lähetettävää
  - n Ei mitään kuuntelua ennen lähetystä
- n Kuuntele sitten, onnistuiko lähetys
  - n Lähiverkossa törmäys havaitaan 'heti', sillä siirtoviive on pieni (toisin kuin satelliitilla)
- n Jos törmäys, niin odota satunnainen aika ja yritä uudelleen
- n Yksinkertainen
- n Törmäyksen td. suuri
  - n Max tehokkuus ~ 18%



Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

25

## Viipaloitu Aloha (slotted Aloha)

- n Lähetysaika jaettu aikaviipaleiksi (slot)
  - n Kaikki siirtokehukset samankokoisia => siirtoaika aina vakioittainen
- n Lähetys voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
  - n Törmäykset täydellisiä => törmäysaika = yhden aikaviipaleen mittainen
- n Solmut synkronoitava: aikaviipaleen alku
- n Jos törmäys, niin kaikki solmut huomaavat
  - n Uudelleenyritys seuraavalla viipaleella todennäköisyydellä p (ts. jättää yrittämättä seuraavalla viipaleella tn:llä 1-p)
  - n Yrittää, kunnes onnistuu
- n Suorituskyky kaksinkertaistuu (Alohaan verrattuna)
  - n Jos paljon lähettäjiä max., ~37 % tehokkuus
  - n Siis 37% tyhjiä, 37% onnistumisia, 26% törmäyksiä

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

26

## Lähetyskanavan kuuntelu

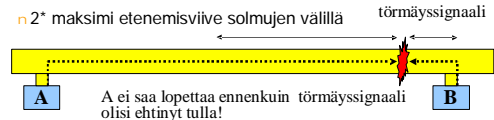
- n Kuuntele ennenkuin lähetät
  - n Asema tutkii, onko kanava jo käytössä (carrier sense)
  - n Jos siirtotie on vapaa, saa lähettää
  - n Jos siirtotie on varattu, odota satunnainen aika ja yritä uudelleen
- n Ei aina paljasta jo alkanutta lähetystä
  - n Etenemisiivien takia ei huomata toisen signaalia ajoissa
    - Seurauksena on törmäys
- n Tai huomaaminen ei ole mahdollista / järkevää
  - n Esim. Satelliittikanavan kuuntelu ei paljasta, onko jokin muu maa-asema jo aloittanut lähetysten
  - n Langattomassa lähiverkossa lähettäjän ympäristön kuuntelu ei kerro, onko vastaanottaja saamassa sanomia muilta
- n CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
  - n Useita variaatioita

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

27

## CSMA/CD (with Collision Detection)

- n Asema kuuntelee myös lähettämisen jälkeen
  - n Langallinen LAN: signaalin voimakkuus muuttuu
    - Esim. Ethernet
  - n Langaton LAN: hankalaa
- n Jos törmäys
  - n Niin keskeytä heti lähettäminen
  - n ja yritä uudestaan satunnaisen ajan kuluttua
  - n Näin törmäyksen aiheuttama hukka-aika pienenee
- n Kauanko kuunneltava?
  - n 2\* maksimi etenemisiivien solmujen välillä

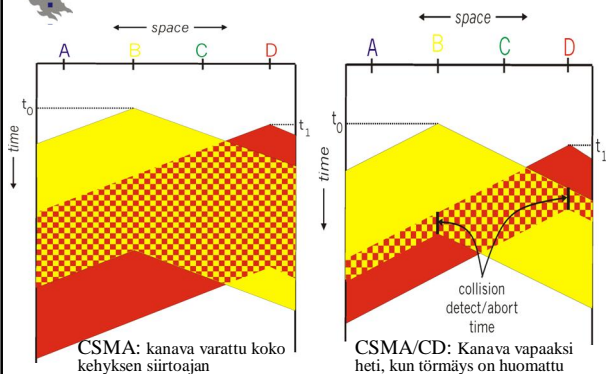


Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

28

## CSMA ja törmäys

KuRo08: Fig. 5.13 ja 5.14



Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

29

## 3) Vuoronantoprotokollat

- n Yhdistä edellisten parhaita puolia
  - n Älä pidä kapasiteettia turhaan varattuna
  - n Älä aiheuta törmäystä
- n Pollaus
  - n Isäntäasema kysyy vuorotellen jokaiselta asemalta, onko sillä lähetettävää (vuorokysely, polling)
  - n Isäntä kuuntelee signaalia, osaa päätellä, milloin lähetys loppuu
- n Vuoromerkki
  - n Se, jolla on vuoromerkki, saa lähettää
  - n Jos ei ole lähetettävää, niin vuoromerkki siirtyy seuraavalle
- n Kummastakin useita versioita
  - n Ongelmia: lisäviive, 'single point of failure', ..
  - n Montako kehystä yhdessä vuorossa saa lähettää

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

30

## Linkkikerros

# Linkkikerroksen osoitteet

Ch 5.4

## Linkkikerroksen fyysinen osoite

- 32 bitin IP-osoite verkkokerroksella
  - Reiittyksen tapa viitata koneeseen
- Erilaisilla linkkikerroksilla omat tapansa osoittaa oikea linkki (~ verkkokortti)
  - Siirtokehys on kuljetettava fyysisen linkin yli jollekin toiselle samaan verkkoon (LAN) kytketyistä laitteista
- MAC-osoite** (Media Access Control Address)
  - Käytetään myös nimiä LAN-osoite, fyysinen osoite, laiteosoite, Ethernet-osoite, ...
  - Liitetty valmistusvaiheessa kiinteästi laitteeseen

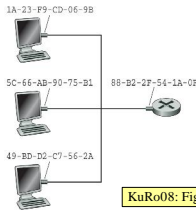
Analogia:

IP-osoite ~ katuosoite    MAC-osoite ~ henkilötunnus

## MAC-osoite

Lähes 300 biljoonaa erilaista osoitetta.  
Lähes 17 miljoonaa valmistajanumeroa, kuhunkin mahdollista lähes 17 miljoonaa osoitetta.

- 48 bittinen (6 tavua)
  - 24 b kertoo valmistajan ja 24 b identifioi ohjainkortin (adapter)
  - IEEE jakaa valmistajanumerot
- Kiinteä
  - Liitetty mukaan valmistuksessa
  - Säilyy, vaikka laite toiseen verkkoon (toisin kuin IP-osoite)
- Ohjain
  - Kuulee kaikki kanavalla kulkevat kehukset
  - Välittää omalle koneelle vain sen MAC-osoitteella tai yleislähetysosoitteella FF-FF-FF-FF-FF-FF merkityt lähetykset



KuRo08: Fig. 5.16

mm. Ethernet, Bluetooth, IEEE 802.11 langattomat verkot käyttävät

## Koneen MAC-osoitteen selvittäminen

- Reiitys: Paketissa on IP-osoite
  - IP-osoitteen verkko-osa reiittyksen perusteena
  - Paketti saapuu kohdeverkon reitittimelle
- Miten selvitetään IP-osoitetta vastaava MAC-osoite?
  - Oikea verkko saavutettu, mutta mille koneelle?

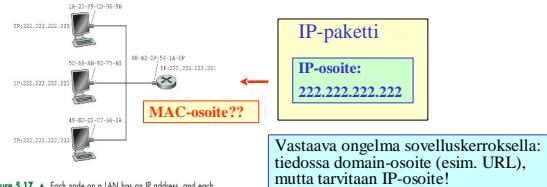


Figure 5.17 Each node on a LAN has an IP address, and each node's adapter has a MAC address.

## ARP-protokolla (Address Resolution Protocol)

- Ratkaisuna ARP-protokolla ja ARP-taulu
  - ARP-protokolla lähettää yleislähetysosoitteella kyselyn, jonka kaikki vastaanottavat.
  - Oman osoitteensa tunnistava laite vastaa kyselijän MAC-osoitteeseen ja kertoo oman MAC-osoitteensa

"aa-bb-cc-dd-ee-ff", "FF-FF-FF-FF-FF-FF"

MAC-yleislähetysosoite: FF-FF-FF-FF-FF-FF

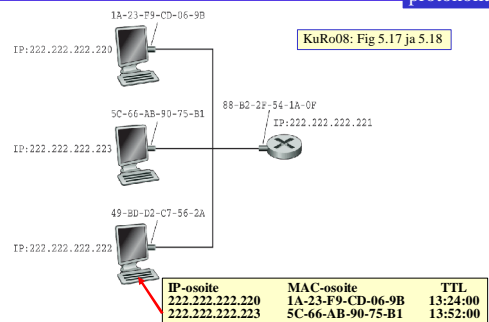
"Kenen IP-osoite on "xx.yy:zz.vv"?"

"kk-ll-mm-nn-oo-pp", "aa-bb-cc-dd-ee-ff"

- ARP-taulu pitää tallessa kyselyjen vastauksia: IP-osoite, MAC-osoite, TTL
  - Kussakin koneessa (myös reitittimessä) jokaiselle aliverkolle oma taulunsa
  - Tiedot vanhenevat n. 20 minuutissa (time-to-live)

## MAC-osoitteet ja ARP-taulu

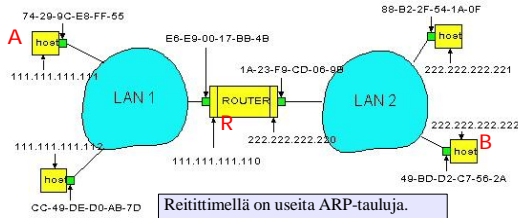
Minkä kerroksen protokolla?



KuRo08: Fig 5.17 ja 5.18

## Lähtettäminen toiseen verkkoon (1)

- Ensin omalle reitittimelle sen MAC-osoitteella ja reititin ohjaa eteenpäin
  - Reititystaulussa on verkko-osoite, jonne paketti seuraavaksi ohjattava
  - Katso kohdeverkon ARP-taulusta kohteen MAC-osoite
  - Jos ei ole taulussa, tee ARP-kysely kohdeverkon konelle

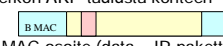
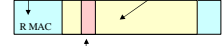


Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

37

## Lähtettäminen toiseen verkkoon (2)

- Lähtettäjä A**
  - Muodosta IP-paketti, jossa Source IP = A, Dest. IP = B
  - Etsi ARP-taulusta reitittimen IP-osoitetta vastaava MAC-osoite
  - Luo siirtokehys, osoitteena reitittimen MAC-osoite (data = IP-paketti).
  - Verkkokortti lähettää siirtokehys.
- Reititin R**
  - Verkkokortti ottaa siirtokehys vastaan.
  - Ota IP-paketti kehyksestä ja tutki otsakkeesta kohteen IP-osoite (B)
  - Katso reititystaulusta, mihin verkkoon seuraavaksi (mille reitittimelle)
  - Koska omassa verkossa, etsi kohdeverkon ARP-taulusta kohteen MAC-osoite
  - Muodosta siirtokehys, osoitteena B:n MAC-osoite (data = IP-paketti)
- Vastaanottaja B**
  - Verkkokortti ottaa kehyksen vastaan; ohjaa IP-paketin verkkokerrokselle.



Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

38

## Linkkikerros

# Ethernet

Ch 5.5

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

39

## Ethernet

- Yleisin lähiverkkoteknologia**
  - Yksinkertainen, edullinen, helppo laajentaa
  - Lähiverkko syntyy kytkemällä koneet keskitimeen tai kytkimeen
- IEEE:n standardoima LAN-verkko**
  - Klassinen Ethernet (10 Mbps): CSMA/CD (kuulosteluväylä)
  - Fast Ethernet (FE, 100 Mbps), Gigabit Ethernet (GE), 10 Gigabit Ethernet, 100 GB Ethernet (pian??), 1 TB Ethernet (joskus??!)
    - Yleensä kytkentäisiä kaksipisteyhteyksiä
- Muita lähiverkkostandardeja**
  - Token Ring (vuororengas)
  - FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
  - WLAN** (langaton lähiverkko)

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

40

## 10BaseT ja 100BaseT

10 Mbps tai 100Mbps (Fast Ethernet, FE)

T = Twisted Pair eli kierretty pariakaapeli

Maks. etäisyys keskitimeen 100 m

**Keskitin (hub)** toistaa bitit heti sellaisenaan muille

Fyysisen tason toistin (repeater); yleislähetys

Signaalin vahvistus

Verkkokortit käsittelevät törmäykset

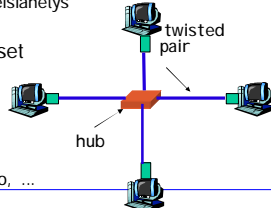
Maks. 30 konetta / keskitin

Keskitin osaa jättää huomiotta

vikaantuneen kortin

Kerää myös tietoa liikenteestä

Törmäysten lkm, keskim. kehyskoko, ...



Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

41

## Gigabitin Ethernet (GE)

1 Gbps tai 10 Gbps

Edelleen sama kehysformaatti

Taaksepäin yhteensopiva

Yhteiskäyttöiset linkit edelleen OK

Koneiden yhdistely keskitimen välityksellä

CSMA/CD

Kaksipisteyhteydet

ei törmäyksiä

koneet yhdistetty **kytkimien** kautta

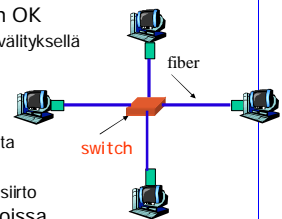
pitkät välimatkat mahdollisia

kaksisuuntainen täysivauhtinen siirto

Käytetään yleisesti runkoverkoissa

verkkojen yhdistely (reititin -> reititin)

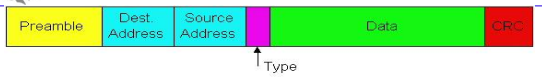
valokaapeli, myös cat5/cat6 pariakaapeli



Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

42

## Ethernet-kehys



### Tahdistuskuvio (preamble) (8 B)

- 7 tavussa 10101010 kellojen tahdistusta varten
- 8. tavu 10101011 kertoo varsinaisen kehyksen alkavan

### Kohteen ja lähteen MAC-osoitteet (6 + 6 B)

### Type (2 B)

- verkko-protokolla, jolle vastaanottaja luovuttaa kehyksen datan
- IP, ARP, jokin muu esim, Apple Talk, Novell IPX, ..

### Data (46 ... 1500 B)

- Ethernet MTU = 1500 B

### CRC (4 B)

- tarkistusbitit, tahdistuskuvio mukana laskennassa

## Kehyksen minimipituus

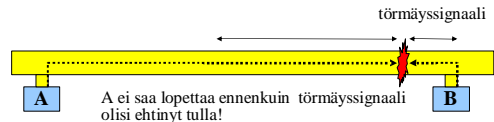
### Data-osan pituus min 46 B

- Tarvittaessa täytetäviä (pad), jotka vastaanotto poistaa

### Lähtäjän ehdittävä huomata mahdollinen törmäys

- Kehyksen lähetyksen ei saa päättyä ennenkuin alku on perillä ja mahdollinen törmäysääni kuuluu
- Alku perillä -> loppukin onnistuu

### Lähetyksen minimikesto = $2 \times$ etenemisvive



## Epäluotettava siirto

### Ethernet ei kätele, ei kuittaile

- Uudelleenlähetyksen vain, jos törmäys
- Mutta tarkistussumma
- Hylkää kehyksen, jos siirrossa virheitä

### Verkkokerros

- saa vain kelpoivia paketteja, antaa kuljetuskerrokselle

### Kuljetuskerros

- TCP: huolehtii luotettavuudesta
- UDP: välillä voi puuttua segmenttejä

### Sovelluskerros

- Voi huolehtia halutessaan luotettavuudesta (vaikka UDP)

## Ethernet varaus: CSMA/CD

(klassinen Ethernet-verkko on yleislähetysverkko)

### Carrier Sense

- Kuuntele, onko väylä vapaa (96 b:n ajan)
- Jos vapaa, lähetä heti
- Muuten odota ja lähetä, kun linja vapautuu

### Collision Detection

- Kun lähetetty, kuuntele onnistuiko

### Törmäys?

- Huomaa signaalin voimakkuudesta
- Lopeta kehyksen lähetyksen heti
- Lopeta 48 bitin soikussignaali (jam): muutkin huomaavat varmasti

### Random Access

- Odota törmäyksen jälkeen satunnainen aika

## Törmäys

### Binary Exponential Backoff

- Kun kuorma kasvaa eli törmäykset lisääntyvät, uudelleenyritysten väli kasvaa

### Odota törmäyksen jälkeen

- $N \times (512 \text{ bitin}) = 64 \text{ tavun siirtoon kuluva aika} = \text{minimikehyksen}$
- 1. törmäys:  $N = 0$  tai  $1$
- 2. törmäys:  $N = 0, 1, 2$  tai  $3$
- $k$ :s törmäys:  $N = 0, \dots$  tai  $2^k - 1$
- 10. törmäyksen jälkeen ei enää kasvata väliä [0-1023]
- 16 törmäyksen jälkeen luopuu ja ilmoittaa 'asiakkaalle' (eli verkkokerrokselle) epäonnistumisesta

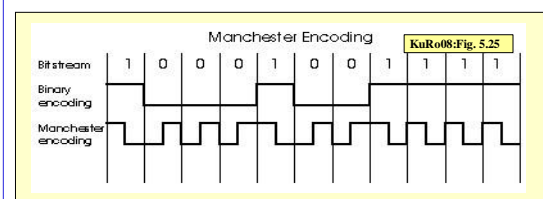
10 Mbps:n linkillä 512 bitin siirtoon kuluu 51,2 mikrosekuntia

## Signaalin koodaus

### Lähtäjän ja vastaanottajan kellopulssit on tahdistettava

### Manchester-koodaus (10BaseT)

- Ethernetissä ei ole kellopulssia, tahdistus osana bittijonoa
- Jännitemuutos aina keskellä bittia
- 1-bitti: ylhäältä alas, 0-bitti: alhaalta ylös





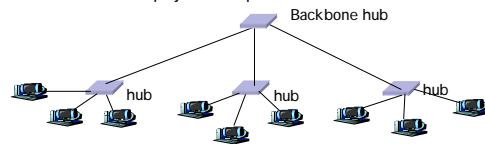
## Linkkikerros

# Keskittin, kytkin

Ch 5.6

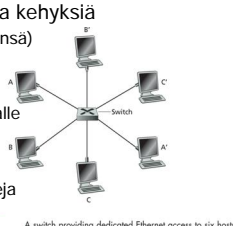
## Keskittin (hub)

- Toimii fyysisellä kerroksella (layer-1)
  - Käsittelee bittejä
- Toistaa saamansa bitit heti kaikille muille linkeille
  - Signaalin vahvistus
- Yhteinen törmäysalue
  - Sopii vain pieniin verkkoihin
- Laitteet samanlaisia
  - Ei esim. 10 Mbps ja 100 Mbps samaan



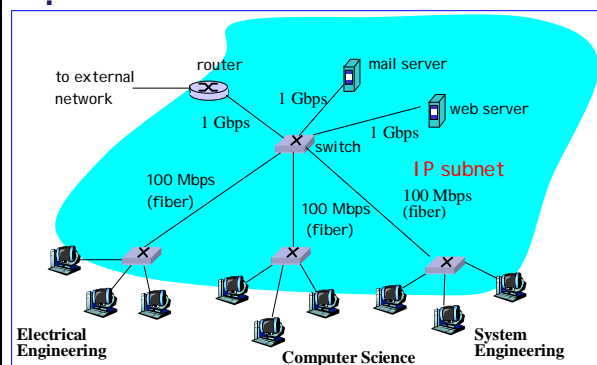
## Kytkin (switch)

- Toimii linkkikerroksella (layer-2)
  - Käsittelee siirtokehyksiä, useita yhtäaikaista yhteyksiä
- Vastaanottaa ja lähettää kokonaisia kehyksiä
  - Etappivälitys (store and forward) (yleensä)
- Ei törmäyksiä
  - Suora piuha koneelta kytkimeen
  - Kytkin lähettää ulos vain yhdelle piuhalle
- Voi yhdistää erilaisia verkko-segmenttejä
  - Kytkimessä esim. 10/100 Mbps portteja
  - Puskurointia
- Tuntumaton (transparent)
  - Sopeutuu itse verkon muutoksiin
  - plug-and-play, self-learning



KuRo08: Fig. 5.24

## LAN, verkko-segmentit



## Kytkin ja kehyksen välitys

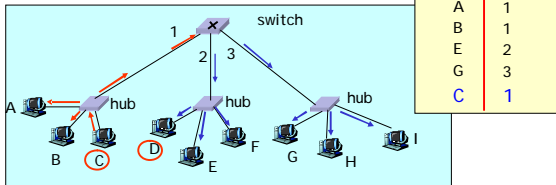
- Miten kytkin osaa välittää kehyksen juuri oikeaan piuhaan?
- Se kerää itse ('oppii') tarvittavat tiedot
  - **takaperinoppimista** (backward learning): saapuva kehys kertoo, mistä linkistä **lähettäjä** saavutetaan
- Ylläpitää kytkentätaulukkoa (MAC-osoite, linkki, TTL)
  - TTL-aikaleima: poista ne, joita ei ole käytetty esim. 60 minuutin aikana

## Kytchentäulu (switching table)

- Aluksi taulu on tyhjä
- Saapuva kehys
  - **Lähteen MAC-osoite** x, kohteen MAC-osoite y, tuloportti p, yms
- Lähde X ei ole taulussa
  - Lisää (X, p, TTL) tauluun eli **kytkin oppii, että osoite X on saavutettavissa portin p kautta**
- Kohde Y ei ole taulussa
  - Lähetetään kehys kaikkiin muihin portteihin = **tulvitus** (flooding)
  - Opitaan myöhemmin Y:n oikea portti jostain sen lähettämästä kehyksestä
- Lähde X ja kohde Y ovat jo taulussa
  - X ja Y samassa portissa => hylkää kehys (samassa alliverkossa)
  - X ja Y eri portteissa => lähetä kehys Y:n porttiin

## Esimerkki

C lähettää kehyksen D:lle

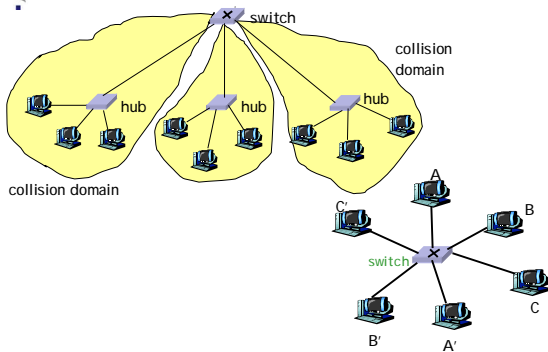


- r Kytin vastaanottaa kehyksen (A ja B kuulevat myös)
  - m Merkitsee tauluun C:n MAC-osoitteen ja portin 1
  - m Koska D ei ole taulussa, tulittaa linkeilla 2 ja 3.
- r D vastaanottaa kehyksen (E ja F kuulevat myös)

## Tulvitus (flooding)

- n Tulvitus voi olla ongelma
  - n Kehykset voivat jäädä kiertämään silmukoissa
  - n Koko verkko tukkeutuu
- n Siis silmukoita ei saa muodostua!
- n Verkon loogisen rakenteen pitää olla puu.
  - n Virittävä puu (Spanning tree)
  - n Lyhyimmin poluin virittävä puu Dijkstran algoritmilla

## Rajoitetut törmäysalueet / ei törmäyksiä



## Suorakytkentä (cut-through switching)

- n Jotkut kytkimet voivat välittää kehyksen bitit ulos sitä mukaa kuin itse ne saavat
  - n Välytyspäätoksen tekoon riittää tutkia otsakkeesta kohdeosoite
  - n Ei siis enää etappivälitteistä (store-and-forward)
- n Pienentää latenssiaikaa
  - n Ei kuitenkaan mahdollisesti ...
  - n 100 Mbps:n linjalla odotusta maksimissaan noin 0.12 ms

## Vertailua

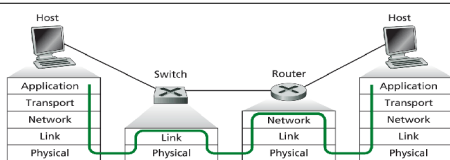


Figure 5.33 ♦ Packet processing in switches, routers, and hosts

	Keskitin (hub)	Kytin (switch)	Reititin (router)
Traffic isolation	no	yes	yes
Plug and play	yes	yes	no
Optimal routing	no	no	yes
Cut through	yes	yes	no

KuRo08: Table 5.1

## Kertauskysymyksiä

- n Miten lähiverkko rakennetaan?
- n Reititin vs. kytkin vs. keskitin?
- n IP-osoite vs. MAC-osoite?
- n ARP-protokolla ja ARP-taulu?
- n Takaperinoppiminen?
- n Kytkentätaulu?
- n Bittivirheiden havaitseminen?
- n Lähetyskanavanjako?
- n CSMA/CD?

ks. kurssikirja s. 501

