



Tietoliikenteen perusteet

Linkkikerros

Kurose, Ross: Ch 5.1- 5.6



Sovellus-
kerros

Kuljetus-
kerros

Verkko-
kerros

**Linkki-
kerros**

Sovellus-
protokolla



TCP/UDP



IP/reititys



LAN



WLAN



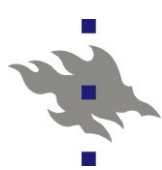
Sisältö

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



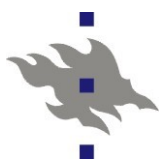
Oppimistavoitteet:

- Osata selittää linkkikerroksen toiminnallisuus (MAC-osoitteet, ARP-protokolla, bittivirheiden havaitseminen)
- 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 linkkiä pitkin koneelta (solmulta (node)) toiselle**
 - langallinen / langaton
 - bitit sisään, bitit ulos
- **Kapseloi paketin siirtoon sopivaan muotoon**
 - Siirtokehys (frame)
- **Lähiverkossa linkkejä voi yhdistää keskittimillä tai kytkin**
 - Käytetään fyysisiä osoitteita
 - 'reititystä' ilman IP-osoitteita

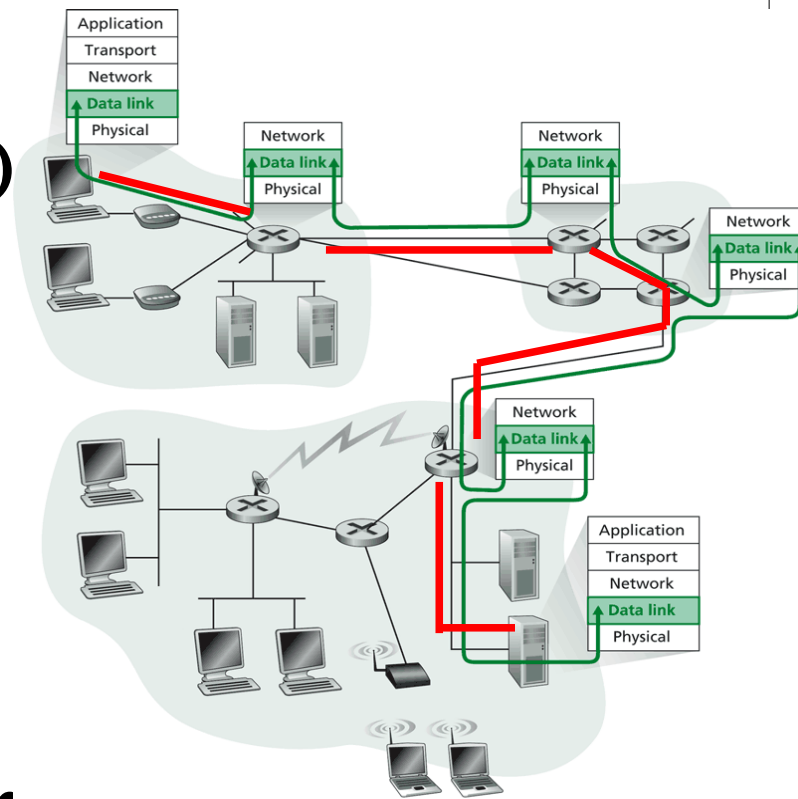
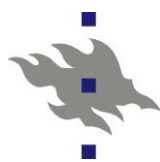


Figure 5.1 ♦ The link layer



Linkkikerroksen tehtäviä

■ Kehystys

Kehyksen rakenne ja koko riippuu siitä, millainen linkki on kyseessä

Otsake, data, lopuke



■ Kohteen ja lähteen osoittaminen

Yhteiseen linkkiin voi olla liitettynä useita laitteita

Käytössä laitetason MAC-osoite (Medium access control)

■ Yhteisen linkin varaus ja käyttö

Esim. langaton linkki, keskittimiin yhdistetyt linkit

■ Luotettava siirto

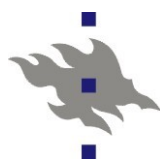
Langattomilla linkeillä suuri virhetodennäköisyys

Linkkitaso huolehtii oikeellisuudesta

Miksi tästä täytyy huolehtia vielä kuljetuskerroksella?

Jotkut linkkityypit eivät huolehdi lainkaan!

Jos kehys hävitettävä ..



Linkkikerroksen tehtäviä

■ Vuonvalvonta, puskurointi

Kytkimessä on useita erinopeuksisia linkkejä

■ Virhevalvonta

signaali vaimenee, taustakohina häiritsee, ...

Kehyksessä on tarkistustietoa (error detection and correction bits)

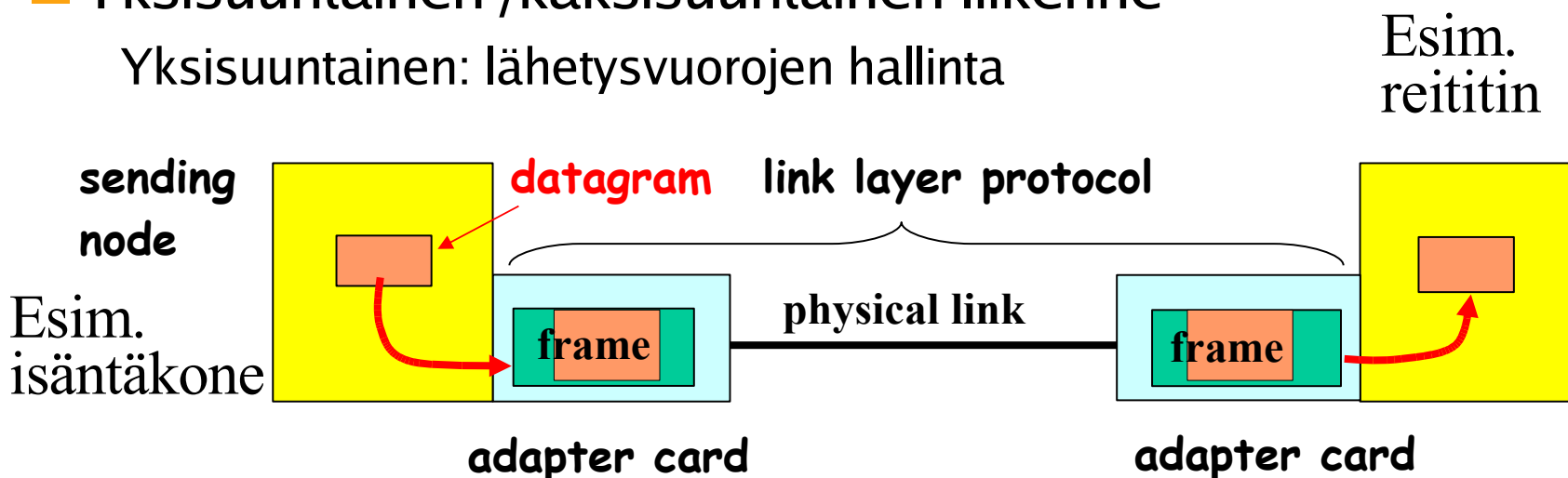
Vastaanottava solmu korjaa, jos pystyy

Jos ei pysty, pyytää uudelleen tai hävittää

■ Yksisuuntainen /kaksisuuntainen liikenne

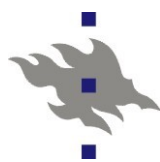
Yksisuuntainen: lähetysvuorojen hallinta

NIC (Network Interface Card)
linkki- ja fyysinen kerros



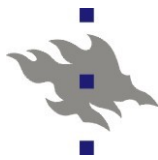
Virheiden havaitseminen ja korjaaminen

Ch 5.2



Bittitason virheet

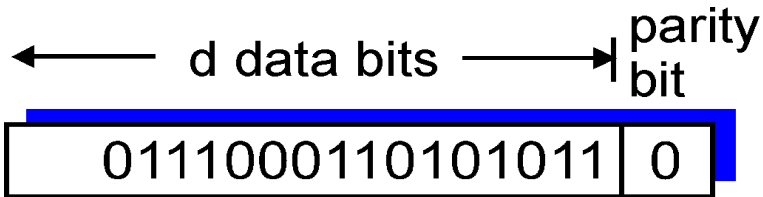
- Yhden bitin virheitä siellä täällä tai peräkkäisten bittien virheryöppyjä (burst)
- Virheiden esiintymistiheys BER (bit error rate)
 - Mitä suurempi BER, sitä lyhyempiä kehyksiä kannattaa käyttää
- Havaitsemiseksi lisäbittejä
 - feedback/backward error control
- Korjaamiseksi enemmän lisäbittejä
 -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



Pariteettitarkistus

Pariteettibitti

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



Kaksiulotteinen pariteetti

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

Hamming-koodi

Korjaa yhden bitin virheen

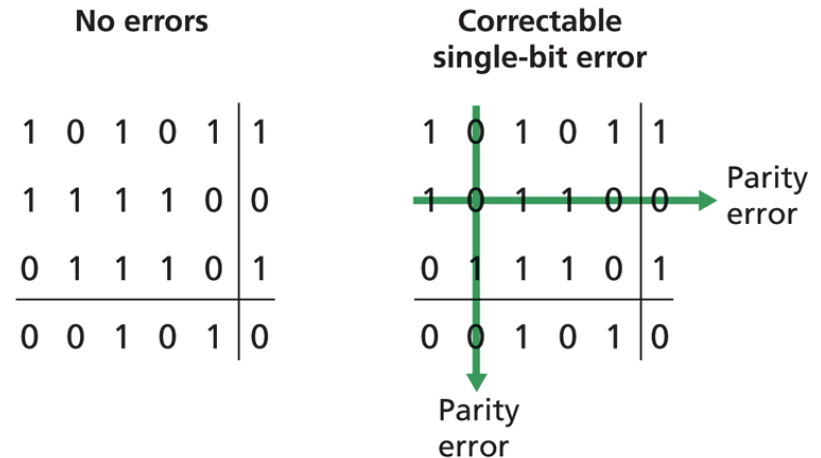
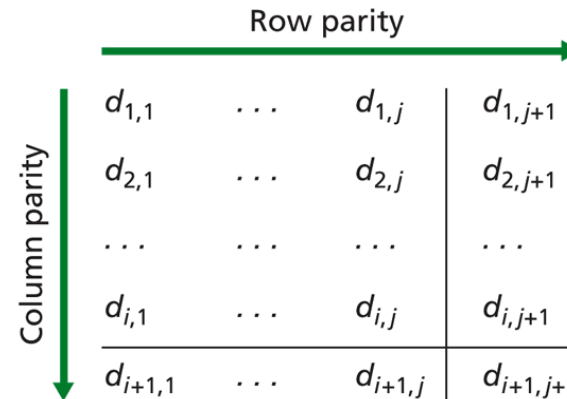
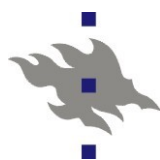


Figure 5.6 ♦ Two-dimensional even parity



Tarkistussumma

■ Internet-checksum

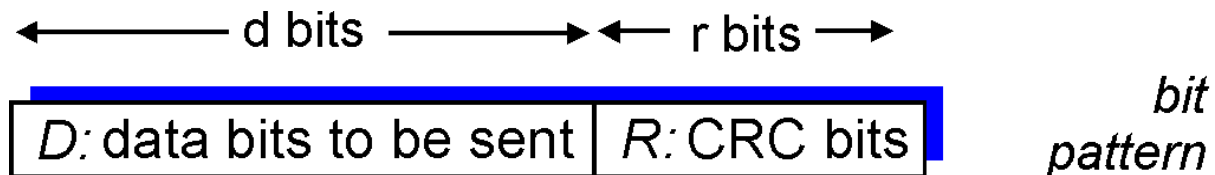
Yhteenlasketaan 16 bitin kokonaisuuksia, yhden komplementti
Kuljetuskerros laskee ja tarkastaa UDP- ja TCP-protokollissa
Ei ole kovin tehokas; linkkikerros ei käytä

■ CRC (cyclic redundance check)

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

CRC

- Käsittelee databittejä yhtenä kokonaislukuna
- Sovittu **virittäjäpolynomi** G
bittejä yksi enemmän kuin lisättäviä tarkistusbittejä ($=r$) eli $r+1$
- Lähettäjä
Asettaa tarkistusbitit R s.e. datan bitit ($=D$) + niiden perään liitetyt tarkistusbitit ovat jaollisia virittäjällä G (**modulo 2-aritmetiikka**)
- Vastaanottaja
Jakaa samoin saamansa bittijonon ($D+R$) virittäjällä G
Jos **jakoäännös $\neq 0$, niin on virhe.**



$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

mathematical formula

CRC-esimerkki

Data: 101110

G: 1001, polynomina

$$1*x^3 + 0*x^2 + 0*x^1 + 1*x^0$$

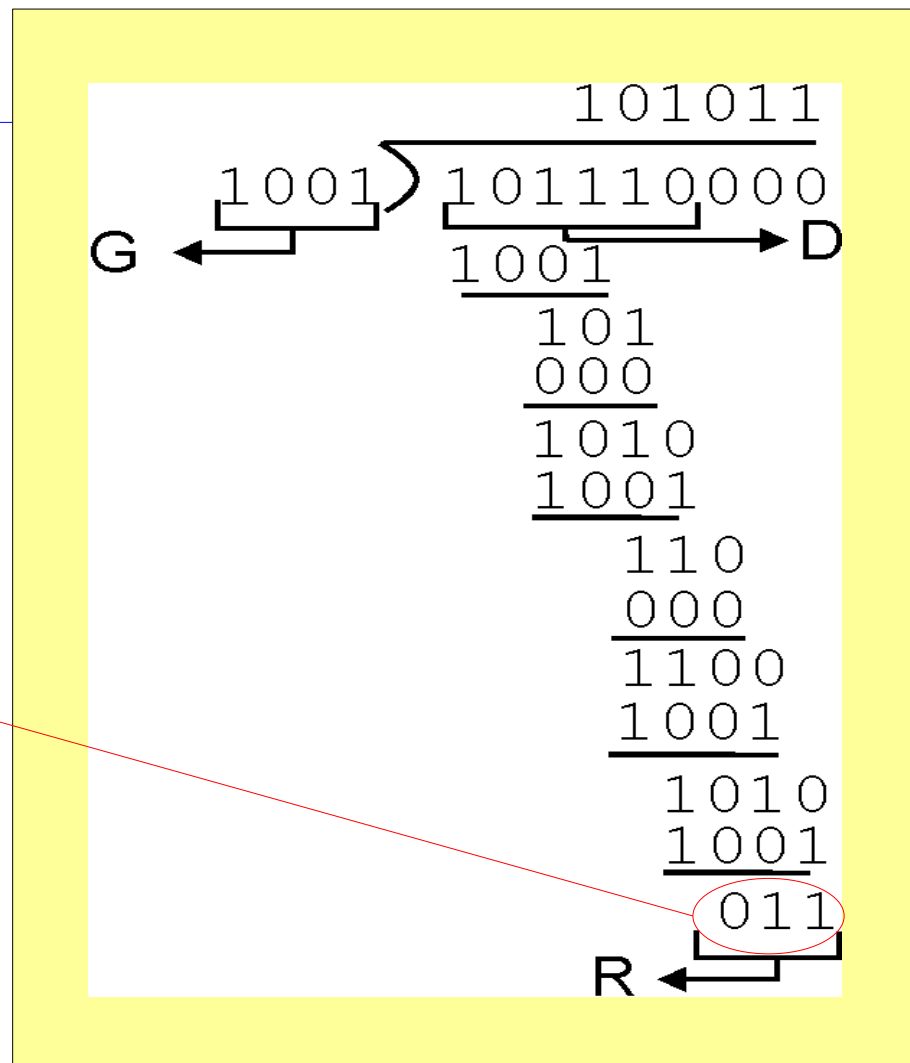
<D,R>: 101110???

Lähetä: 101110**011**

Modulo 2-aritmetiikka

vähennyslasku yhteenlaskuja
ei lainaamista, ei muistinumeroita
= bittitason XOR

$$1+1=0, 1+0=0+1=1, 0+0=0$$



KuRo05:Fig 5.8



Standardoituja virittäjäpolynomeja

$$\blacksquare G_{\text{CRC-12}} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

$$\blacksquare G_{\text{CRC-16}} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\blacksquare G_{\text{CRC-32}} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + \dots + x^4 + x^2 + x + 1$$

$$= 1\ 0000\ 0100\ 1100\ 0001\ 0001\ 1101\ 1011\ 0111$$

Virittäjäpolynomin merkitsevin bitti = 1

Havaitsee

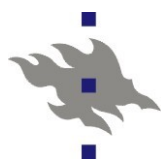
kaikki virheryöpyt, joiden pituus < tai = kuin virittäjän pituus
lähes kaikki virheryöpyt, joiden pituus on suurempi



Linkkikerros

Yhteiskäyttöinen kanava

Ch 5.3



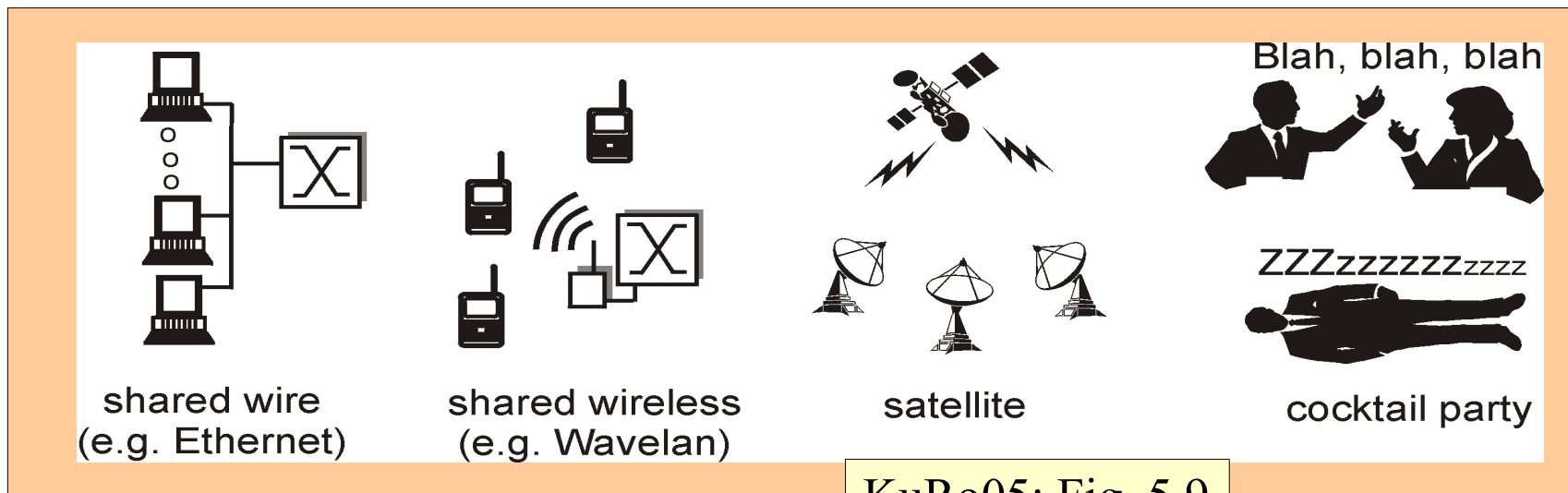
Yksi kanava

■ Kaksipisteyhteys (point-to-point)

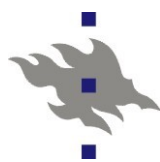
- PPP-protokolla, puhelinyhteys (dial-up access)
- Ethernet-piuha kytkimen ja isäntäkoneen välissä

■ Yleislähetisyhteys (broadcast)

- Alkuperäinen Ethernet, Ethernet keskittimen ja isäntäkoneen välissä, kaapelimodeemiyhteys (upstream), WLAN, satelliitti,



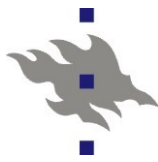
KuRo05: Fig. 5.9



Lähetysvuorojen jakelu

- Yksi yhteinen kanava lähettäjiille
 - Lähetys onnistuu vain, jos yksi kerrallaan lähettää
- Jos useampi lähettää yhtäaikaan, syntyy yhteentörmäys
 - Kaikki solmut saavat useita signaaleja, “bittimössöä”
 - Törmänneet sanomat tuhoutuvat ja ne on lähetettävä uudelleen
- Multiple Access protocol
 - Tapa, jolla solmu päättää, voiko se lähettää
 - Kuinka solmun on toimittava törmäystilanteessa





Tätä tavoitellaan

■ Pieni yleisrasite

- Kun vain yksi lähettäjä, se pystyy hyödyntämään koko kanavan siirtonopeuden R bps

■ Tasapuolisuus

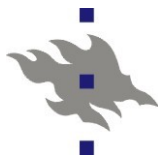
- Kun M lähettäjä, kukin saa keskimäärin saman osuuden linjan siirtonopeudesta (R/M bps)

■ Toimintavarmuus

- Yksikään solmu ei ole erikoisasemassa, koordinaattorina
- Ei kellojen sykronointia tms
- Hajautettu vuoroista sopiminen

■ Kustannustehokkuus

- 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.

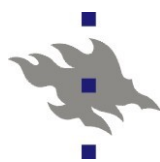
Aloha, CSMA, CSMA/CD

3) Vuoronantoprotokollat (taking-turns protocols)

Jaa käyttövuorot jollakin sovitulla tavalla:

pollaus, vuoromerkki, ...

“Minä ensin, sinä sitten.”



1) Kanavanjako: TDMA

TDMA: Time Division Multiple Access

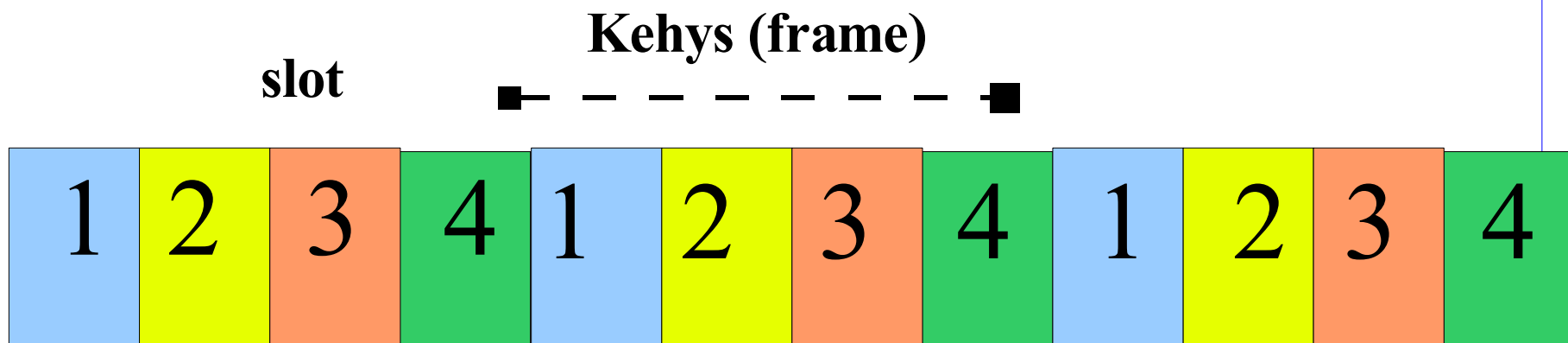
- Anna aikaviipale kullekin kanavaan kytketylle vuorotellen

Koko kanava on hetken yksityiskäytössä => R/M bps

Ehtii lähettää yhden kehyksellisen (data frame)

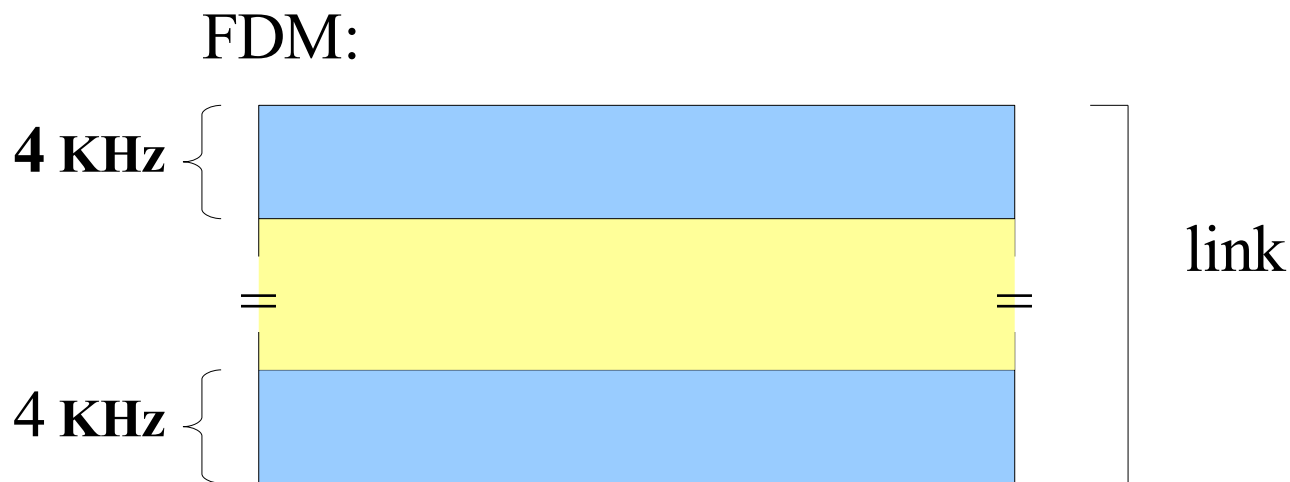
Vaikka lähetettävää ei olisikaan, aikaviipale on silti varattuna

TDMA:



Kanavanjako: FDMA

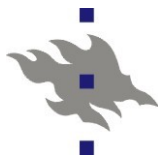
- **FDMA** (Frequency Division Multiple Access)
Jaa kanavan taajuusalueet kanavan käyttäjien (varaajien) kesken
 - Vain osa kanavasta yksityisessä käytössä => R/M bps
 - Varattuna, vaikka ei olisi lähetettävää





Kanavanjako: CDMA

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

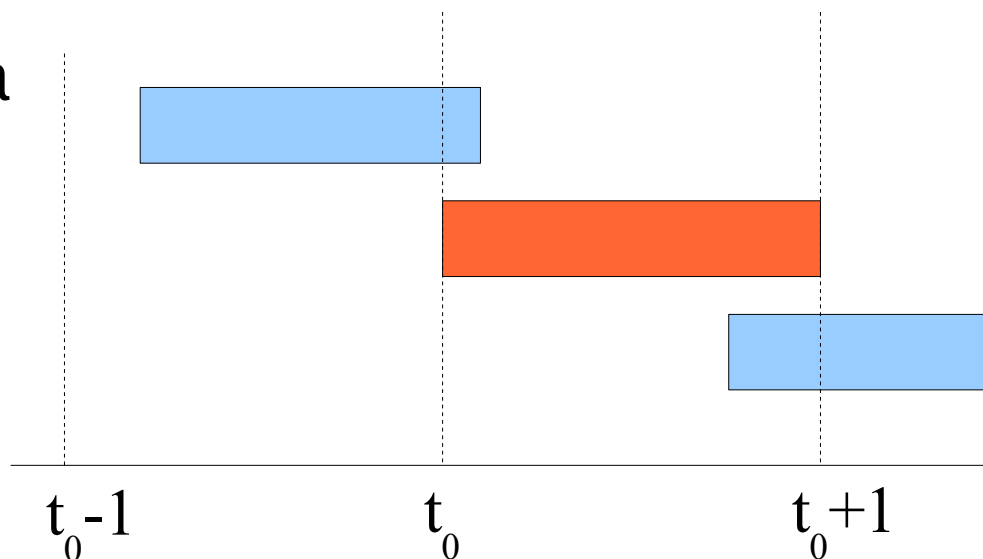


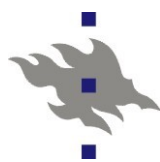
2) Kilpailuprotokollat

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



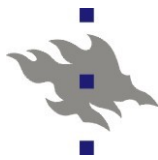
- Hawaijilla, 70-luvulla radiotietä varten
- Lähetä heti, kun on lähetettävää
 - Ei mitään kuuntelua ennen lähetystä
- Kuuntele sitten, onnistuiko lähetys
 - Lähiverkossa törmäys havaitaan 'heti', sillä siirtoviive on pieni (toisin kuin satelliitilla)
- Jos törmäys, niin odota satunnainen aika ja yritä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





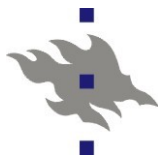
Viipaloitu Aloha (slotted Aloha)

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



Lähetyskanavan kuuntelu

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



CSMA/CD (with Collision Detection)

■ Asema kuuntelee myös lähettämisen jälkeen

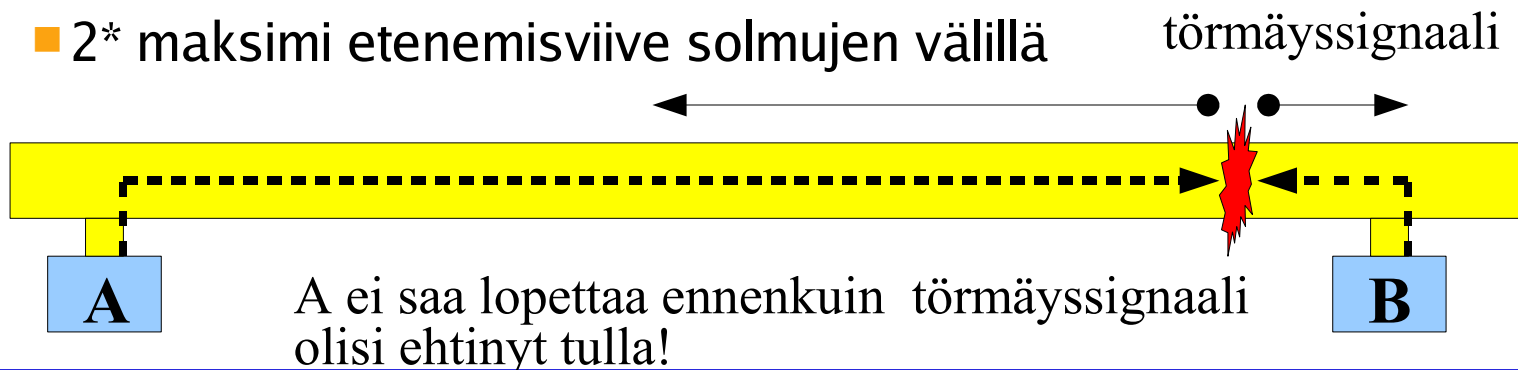
- Langallinen LAN: signaalin voimakkuus muuttuu
 - Esim. Ethernet
- Langaton LAN: hankalaa

■ Jos törmäys

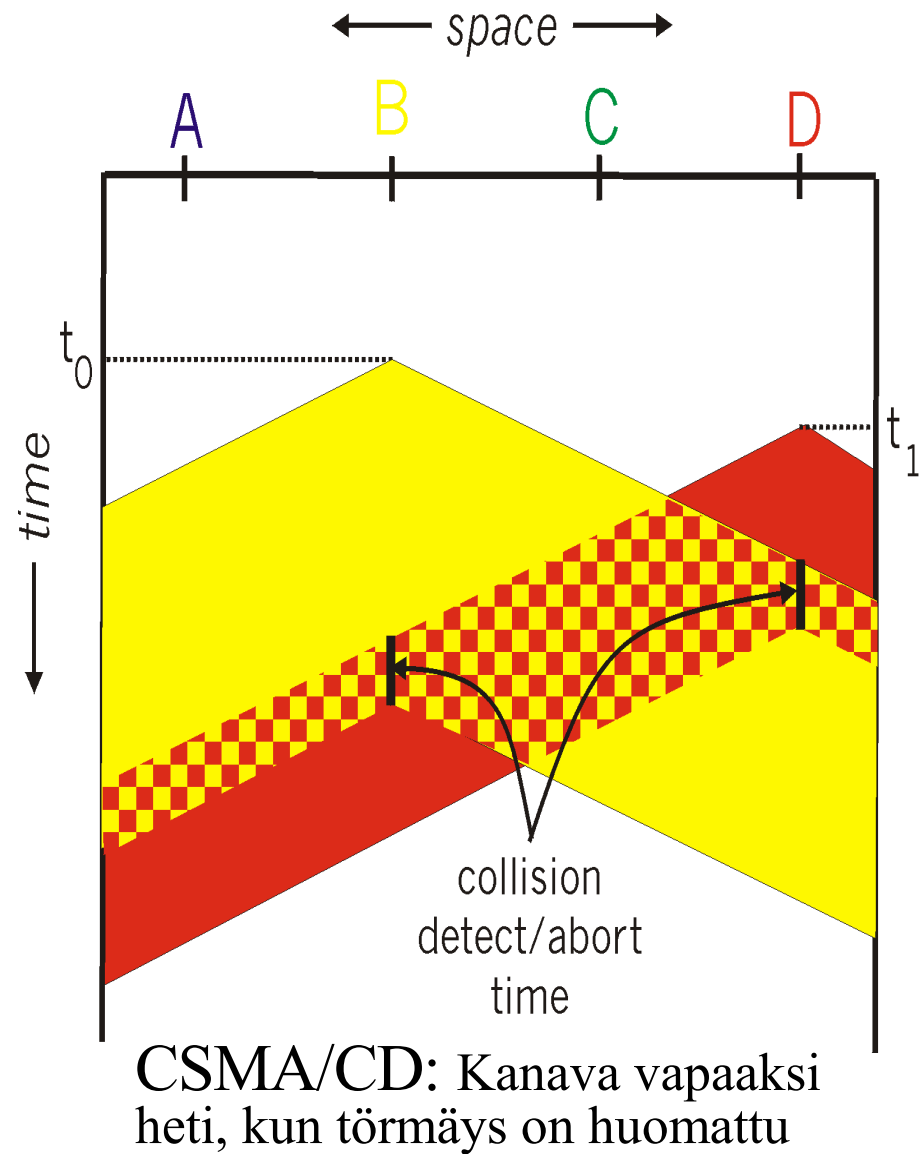
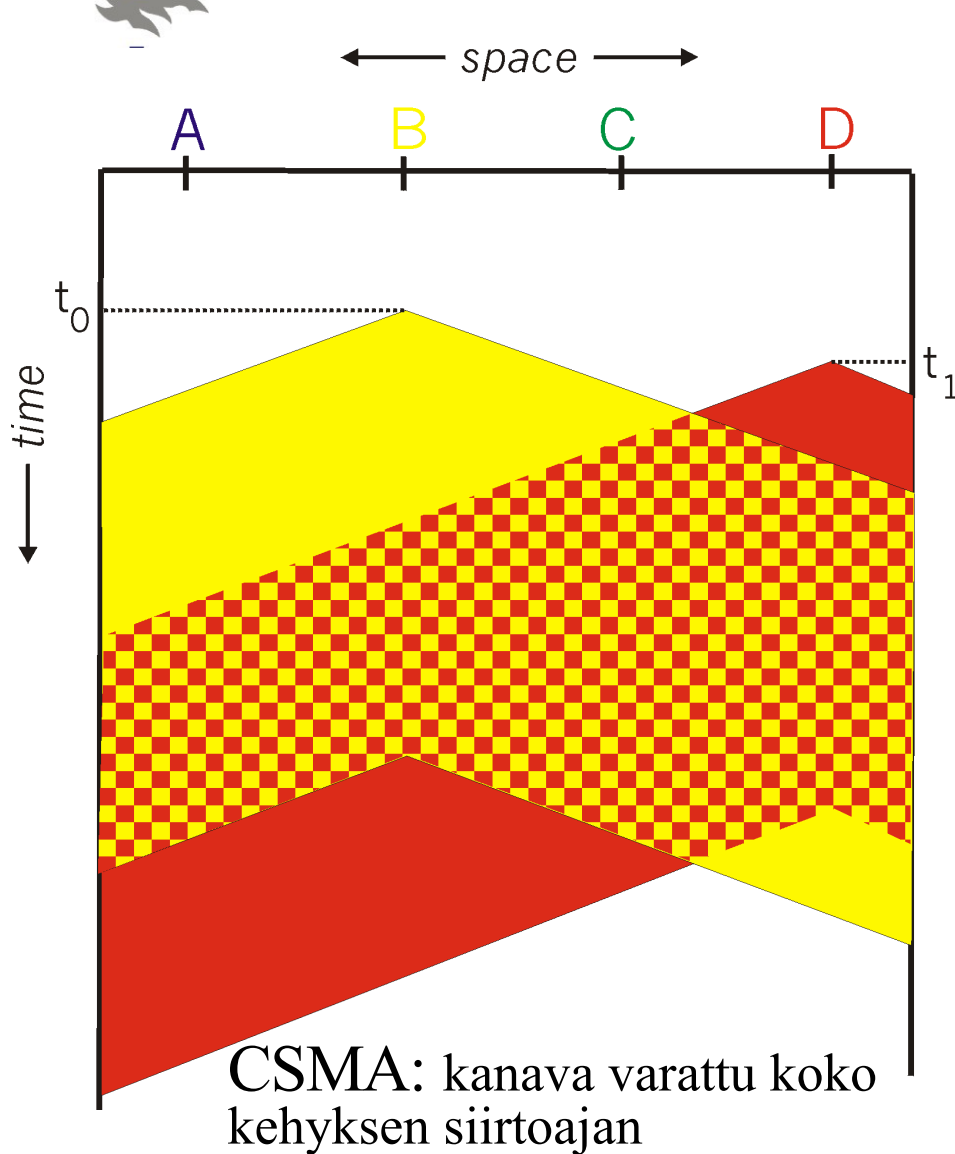
- Niin keskeytä heti lähettäminen
- ja yritä uudestaan satunnaisen ajan kuluttua
- Näin törmäyksen aiheuttama hukka-aika pienenee

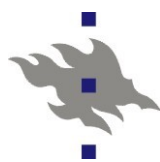
■ Kauanko kuunneltava?

- 2^* maksimi etenemisviive solmujen välillä



CSMA ja törmäys





3) Vuoronantoprotokollat

■ Yhdistä edellisten parhaita puolia

- Älä pidä kapasiteettia turhaan varattuna
- Älä aiheuta törmäystä

■ Pollaus

- Isäntäasema kyselee vuorotellen jokaiselta asemalta, onko sillä lähetettävää (vuorokysely, polling)
- Isäntä kuuntelee signaalia, osaa päätellä, milloin lähetys loppuu

■ Vuoromerkki

- Se, jolla on vuoromerkki, saa lähettää
- Jos ei ole lähetettävää, niin vuoromerkki siirtyy seuraavalle

■ Kummastakin useita versioita

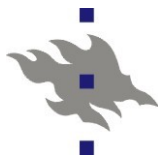
- Ongelmia: lisäviive, 'single point of failure', ..
- Montako kehystä yhdessä vuorossa saa lähettää



Linkkikerros

Linkkikerroksen osoitteet

Ch 5.4



Linkkikerroksen fyysinen osoite

- 32 bitin IP-osoite verkkokerroksella
 - Reitityksen 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

■ 48 bittinen (6 tavua)

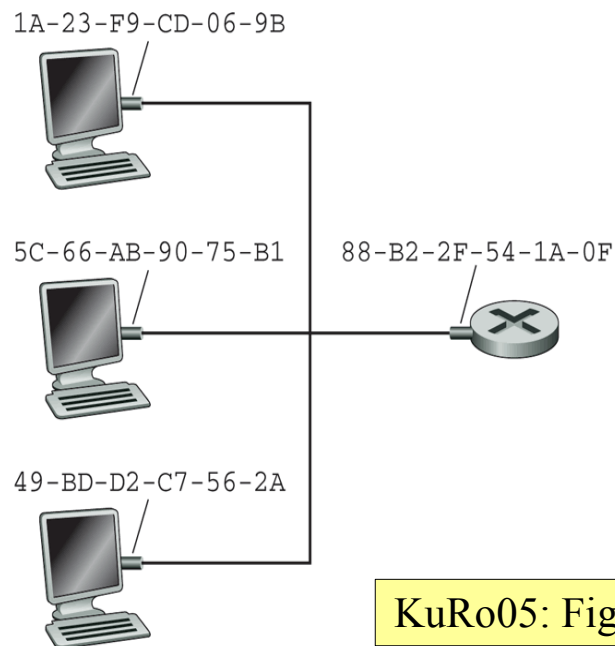
- 24 b kertoo valmistajan ja 24 b identifioi ohjainkortin (adapter)
- IEEE jakaa valmistajanumerot

■ Kiinteä

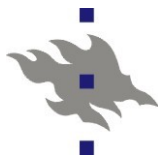
- Liitetty mukaan valmistuksessa
- Säilyy, vaikka laite toiseen verkkoon (toisin kuin IP-osoite)

■ Ohjain

- Kuulee kaikki kanavalla kulkevat kehykset
- Välittää omalle koneelle vain sen MAC-osoitteella tai yleislähetysosoitteella FF-FF-FF-FF-FF-FF merkityt lähetykset



KuRo05: Fig. 5.16

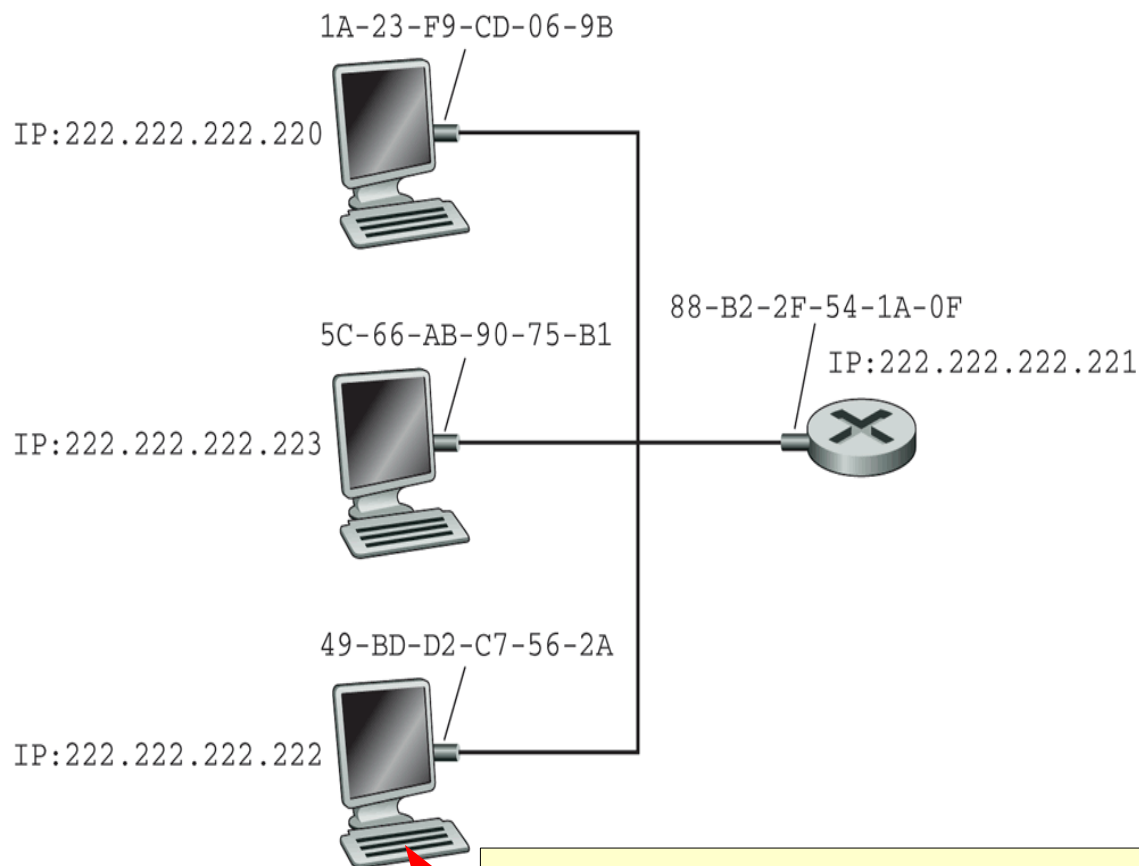


ARP-protokolla (Address Resolution Protocol)

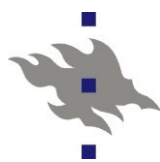
- Reititys: Paketissa on IP-osoite
 - IP-osoitteen verkko-osa reitityksen perusteena
 - Paketti saapuu kohdeverkon reitittimelle
- Miten selvitetään IP-osoitetta vastaava MAC-osoite?
 - Oikea verkko saavutettu, mutta mille koneelle?
- Ratkaisuna ARP-protokolla ja ARP-taulu
 - **ARP-protokolla** lähettää yleislähetysosoitteella kyselyn, jonka kaikki vastaanottavat.
Oman osoitteensa tunnistava laite vastaa kyselijän MAC-osoitteeseen ja kertoo oman MAC-osoitteensa
 - **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



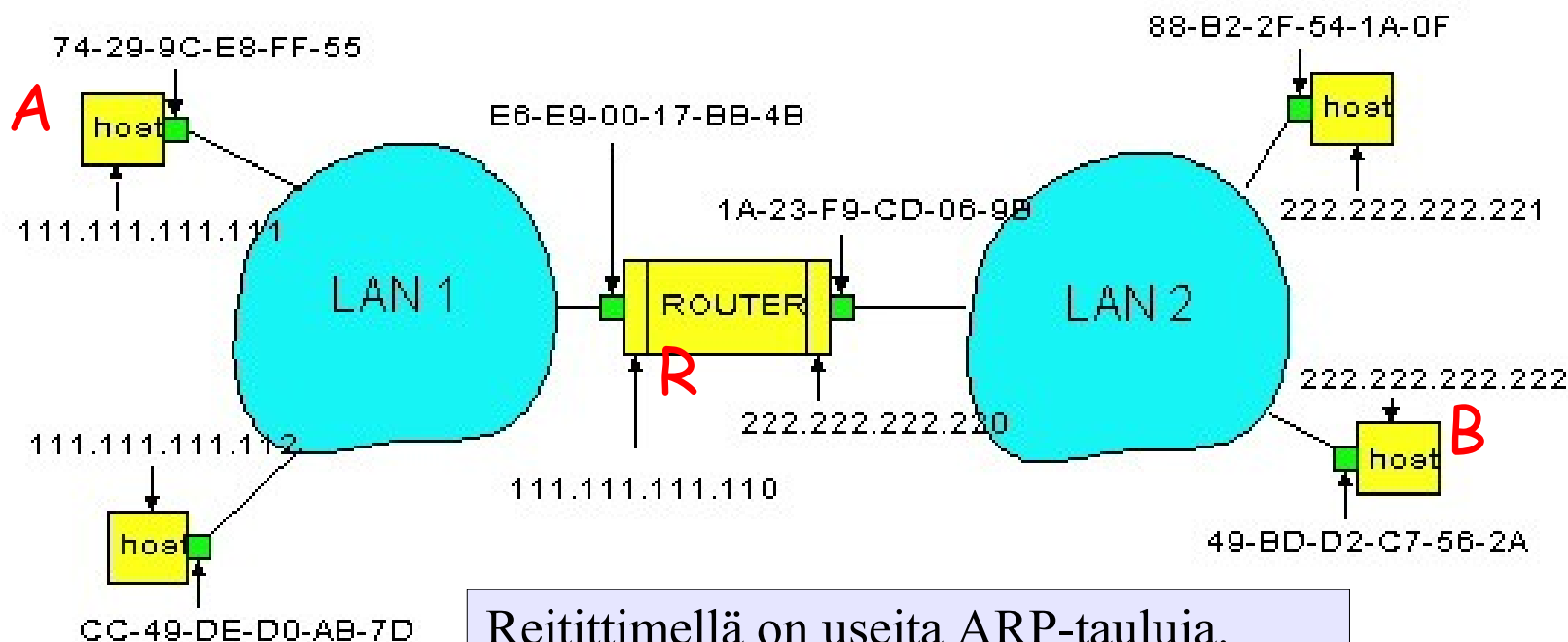
IP-osoite	MAC-osoite	TTL
222.222.222.220	1A-23-F9-CD-06-9B	13:24:00
222.222.222.223	5C-66-AB-90-75-B1	13:52:00

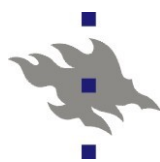


Lähtettäminen toiseen verkkoon (1)

Ensin reitittimelle sen MAC-osoitteella

- Reititystaulussa on verkko-osoite, jonne paketti seuraavaksi ohjattava
- Katso kohdeverkon ARP-taulusta kohteen MAC-osoite
- Jos ei ole taulussa, tee ARP-kysely kohdeverkon koneille





Lähtettäminen toiseen verkkoon (2)

■ Lähettäjä **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 siirtokehyyksen

■ Reititin **R**

Verkkokortti ottaa siirtokehyyksen vastaan

Ota IP-paketti kehyksestä ja tutki otsakkeesta kohteen IP-osoite (B)

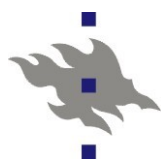
Katso reititystaulusta, mihin verkkoon seuraavaksi (mille reitittimelle)

Etsi kohdeverkon ARP-taulusta kohteen MAC-osoite

Muodosta siirtokehys, osoitteena B:n MAC-osoite (data = IP-paketti)

■ Vastaanottaja **B**

Verkkokortti ottaa kehyksen vastaan



Linkkikerros

Ethernet

Ch 5.5



- **Yleisin lähiverkkoteknologia**
 - Yksinkertainen, edullinen, helppo laajentaa
 - Lähiverkko syntyy kytkemällä koneet keskittimeen 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
 - Yleensä kytkentäisiä kaksipisteyhteyksiä
- **Muita lähiverkkostandardeja**
 - Token Ring (vuororengas)
 - FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
 - WLAN (langaton lähiverkko)

10BaseT ja 100BaseT

10 Mbps tai 100Mbps (Fast Ethernet, FE)

T = Twisted Pair elikierretty parikaapeli

Maks. etäisyys keskittimeen 100 m

Keskitin toistaa bitit heti sellaisenaan muille

Fyysisen tason toistin (repeater); yleislähetys

Signaalin vahvistus

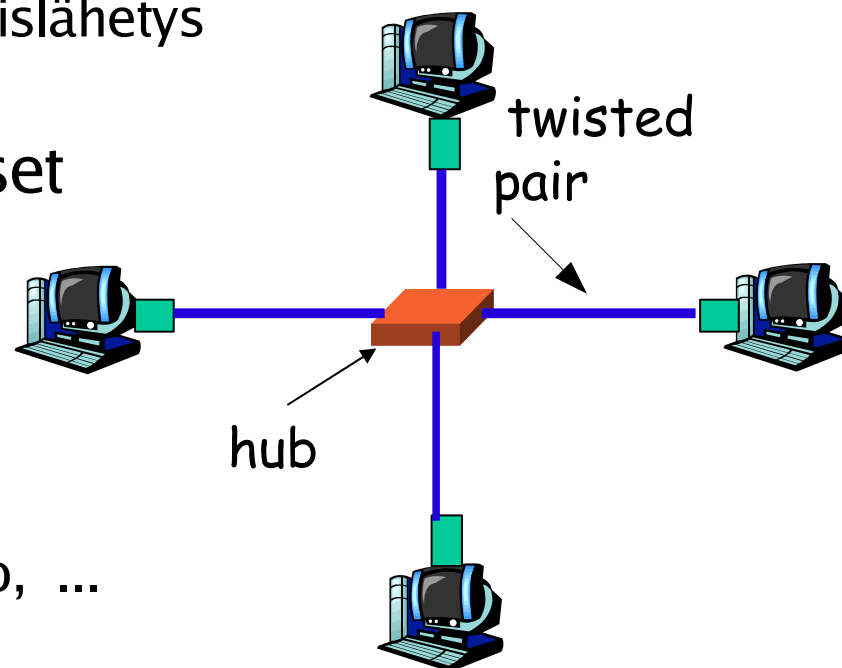
Verkkokortit käsittelevät törmäykset

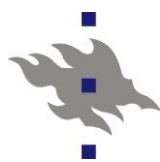
Maks. 30 konetta / keskitin

Keskitin osaa jättää huomiotta vikaantuneen kortin

Kerää myös tietoa liikenteestä

Törmäysten lkm, keskim. kehyskoko, ...





Gigabitin Ethernet (GE)

1 Gbps tai 10 Gbps

Edelleen sama kehysformaatti

Taaksepäin yhteensopiva

Yhteiskäyttöiset linkit edelleen OK

Koneiden yhdistely keskittimen välityksellä

CSMA/CD

Kaksipisteyhteydet

ei törmäyksiä

koneet yhdistetty kytkimien kautta

pitkät välimatkat mahdollisia

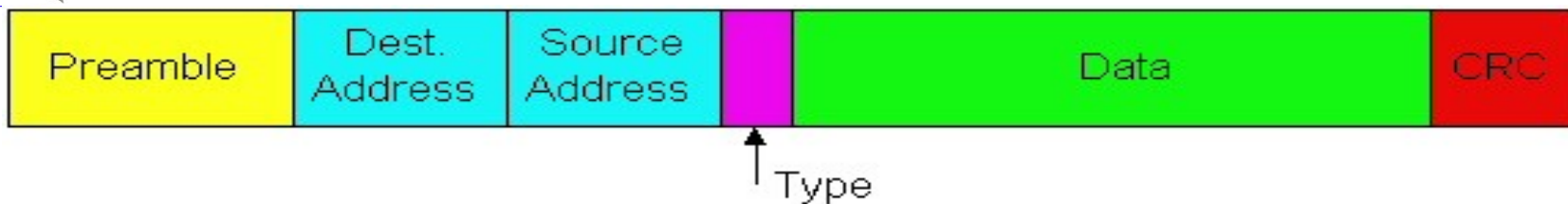
kaksisuuntainen täysivauhtinen siirto

Käytetään yleisesti runkoverkoissa

verkkojen yhdistely (reititin -> reititin)

valokaapeli, myös cat5/cat6 parikaapeli

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)

verkkoprotokolla, jolle vastaanottaja luovuttaa kehyksen datan

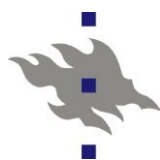
IP, ARP, jokin muu esim, Apple Talk, Novell IPX, ..

Data (46 ... 1500 B)

Ethernet MTU = 1500 B

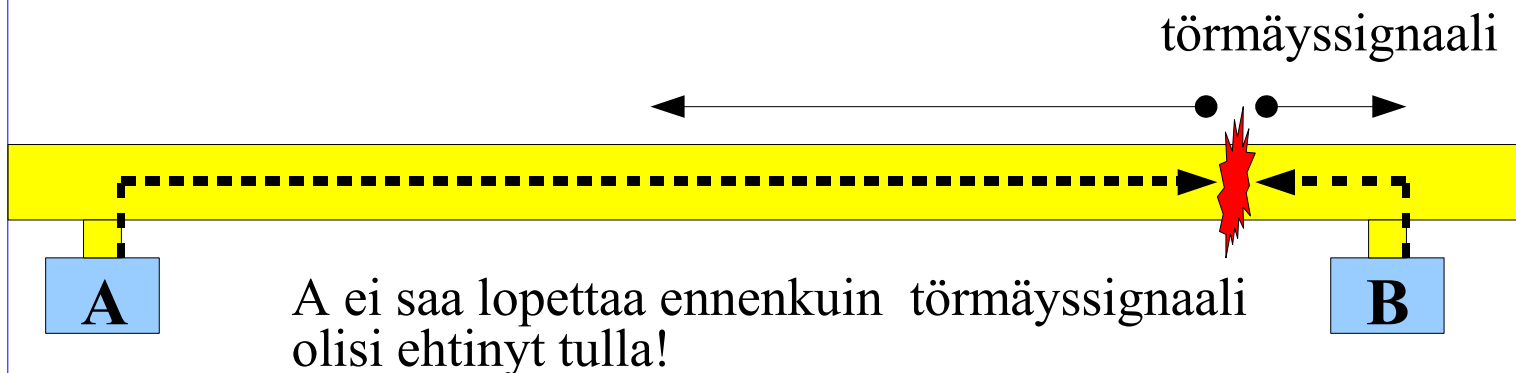
CRC (4 B)

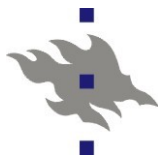
tarkistusbitit, tahdistuskuvio mukana laskennassa



Kehyksen minimipituus

- Data-osan pituus min 46 B
 - Tarvittaessa täytetäviä (pad), jotka vastaanotto poistaa
- Lähettäjän ehdittävä huomata mahdollinen törmäys
 - Kehyksen lähetys ei saa päättyä ennenkuin alku on perillä ja mahdollinen törmäysääni kuuluu
 - Alku perillä -> loppukin onnistuu
- Lähetyksen minimikesto = $2 * \text{etenemisvive}$





Epäluotettava siirto

- Ethernet ei kättele, ei kuittaile
 - Uudelleenlähetys vain, jos törmäys
- Mutta tarkistussumma
 - Hylkää kehyksen, jos siirrossa virheitä

Verkkokerros

saa vain kelvollisia paketteja, antaa kuljetuskerrokselle

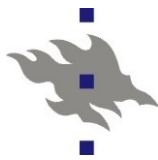
Kuljetuskerros

TCP: huolehtii luotettavuudesta

UDP: välistä voi puuttua segmenttejä

Sovelluskerros

Voi huolehtia halutessaan luotettavuudesta (vaikka UDP)



Ethernet varaus: CSMA/CD

■ Carrier Sense

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

■ Collision Detection

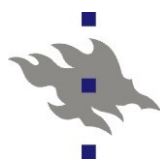
- Kun lähetetty, kuuntele onnistuiko

■ Törmäys?

- Huomaa signaalin voimakkuudesta
- Lopeta kehysten lähetys heti
- Lopeta 48 bitin sotkusignaali (jam): muutkin huomaavat varmasti

■ Random Access

- Odota törmäyksen jälkeen satunnainen aika



Törmäys

■ Binary Exponential Backoff

- Kun kuorma kasvaa eli törmäykset lisääntyvät, uudellenyritysten väli kasvaa

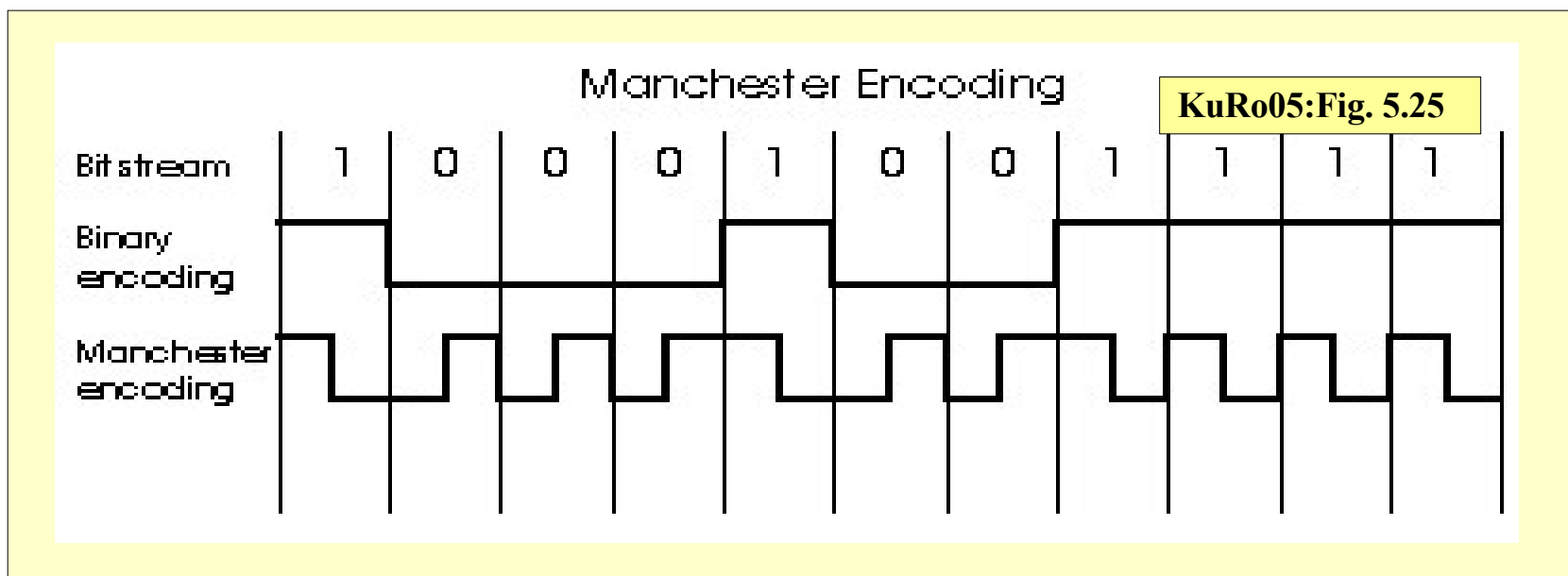
■ Odota törmäyksen jälkeen

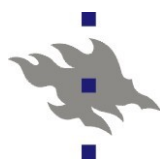
- $N \cdot (512 \text{ bitin} = 64 \text{ tavun siirtoon kuluva aika} = \text{minimikehys})$
- 1. törmäys: $N = 0$ tai 1
- 2. törmäys: $N = 0, 1, 2$ tai 3
- k :s törmäys: $N = 0, \dots$ tai $2^k - 1$
- 10. törmäyksen jälkeen ei enää kasvata väliä $[0-1023]$
- 16 törmäyksen jälkeen luopuu ja ilmoittaa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

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

Signaalin koodaus

- Lähettäjän ja vastaanottajan kellopulssit on tahdistettava
- Manchester-koodaus (10BaseT)
 - Ethernetissä ei ole kellopulssia, tahdistus osana bittijonoa
 - Jännitemuutos aina keskellä bittiä
 - 1-bitti: ylhäältä alas, 0-bitti: alhaalta ylös





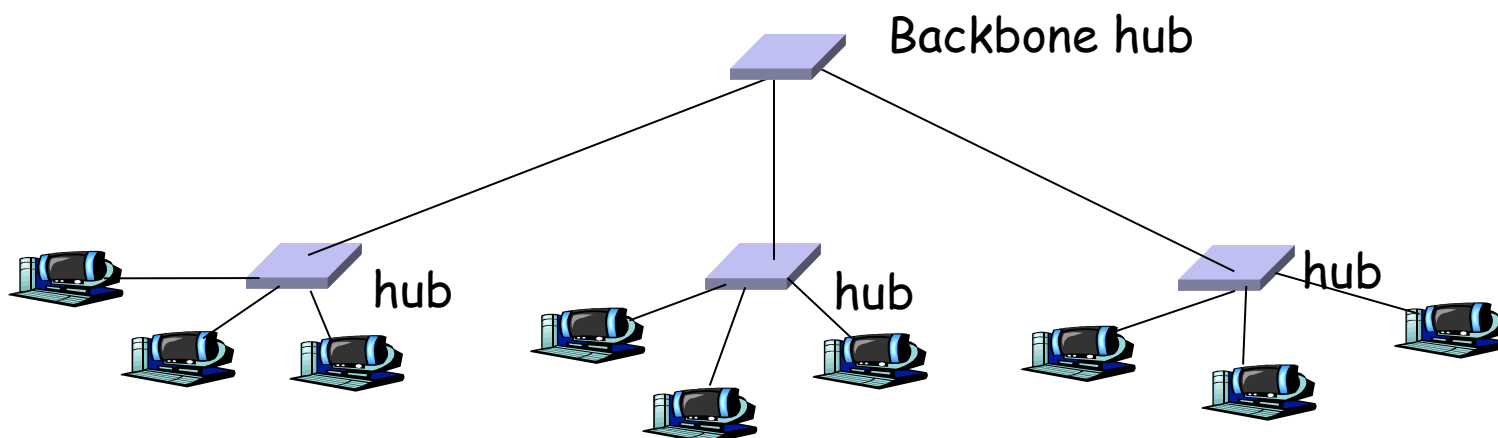
Linkkikerros

Keskitin, kytkin

Ch 5.6

Keskitin (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 yhtäaikaisia yhteyksiä
- Vastaanottaa ja lähettää kokonaisia kehyksiä
 - Etappivälitys (store and forward)
- Ei törmäyksiä
 - Suora piuha koneelta kytkimeen
 - Kytkin lähettää ulos vain yhdelle piuhalle
- Voi yhdistää erilaisia verkkosegmenttejä
 - Kytkimessä esim. 10/100 Mbps portteja
 - Puskurointia
- Tuntumaton (transparent)
 - Sopeutuu itse verkon muutoksiin
 - 'plug-and-play, self-learning

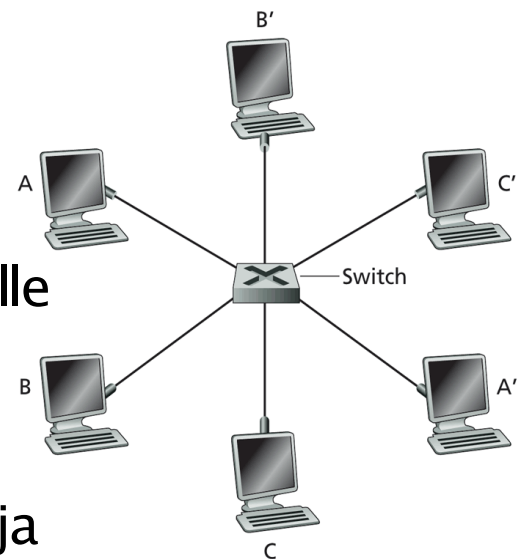
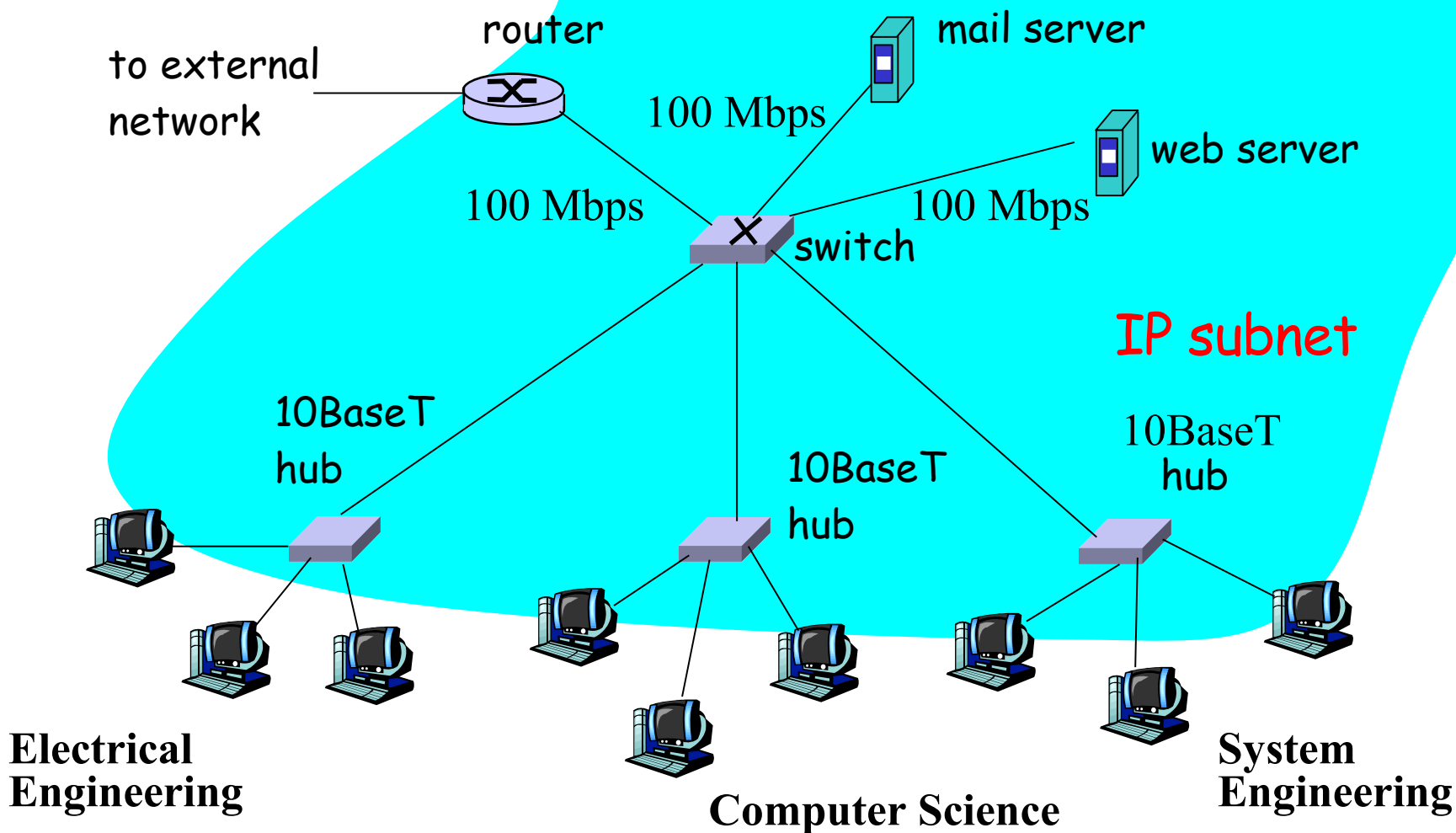
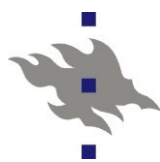


Figure 5.32 ♦ A switch providing dedicated Ethernet access to six hosts

LAN, verkkosegmentit

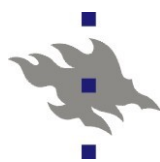
KuRo05: Fig 5.29





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

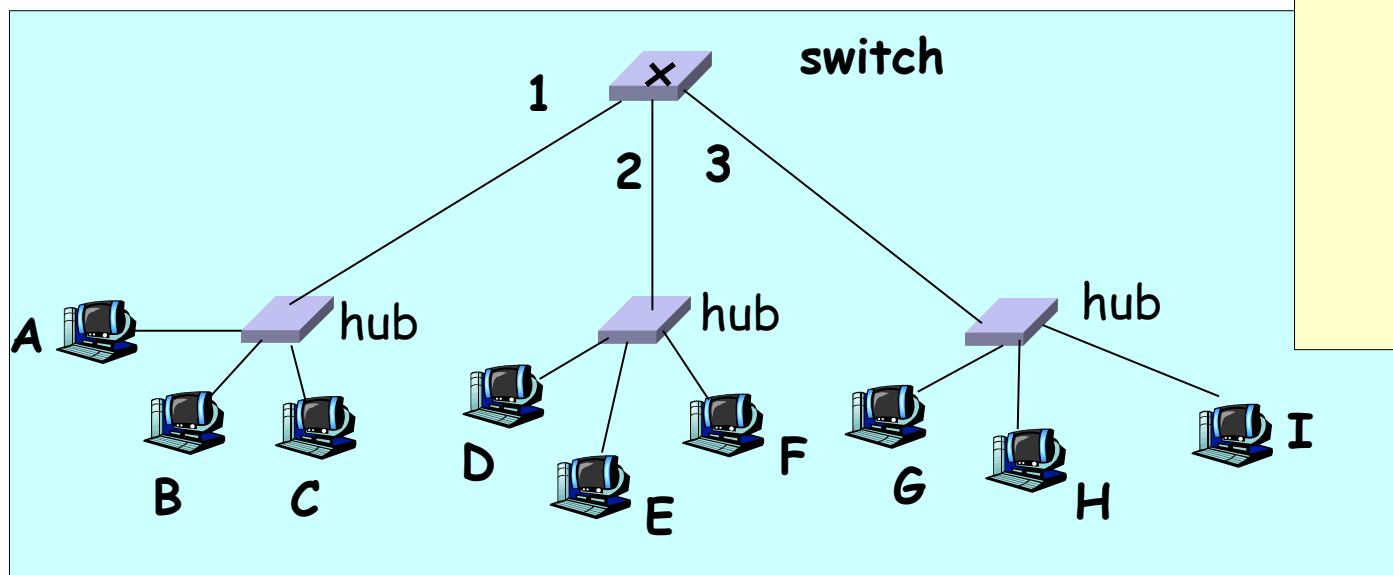


Kytchentätaulu (switching table)

- 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
 - X ja Y ei porteissa => lähetä kehys Y :n porttiin

Esimerkki

C lähettää kehyksen D:lle



address	interface
A	1
B	1
E	2
G	3
C	1

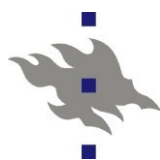
- Kytkin vastaanottaa kehyksen (A ja B kuulevat myös)
 - Merkitsee tauluun C:n MAC-osoitteen ja portin 1
 - Koska D ei ole taulussa, tulvittaa linkeilla 2 ja 3.
- D vastaanottaa kehyksen (E ja F kuulevat myös)



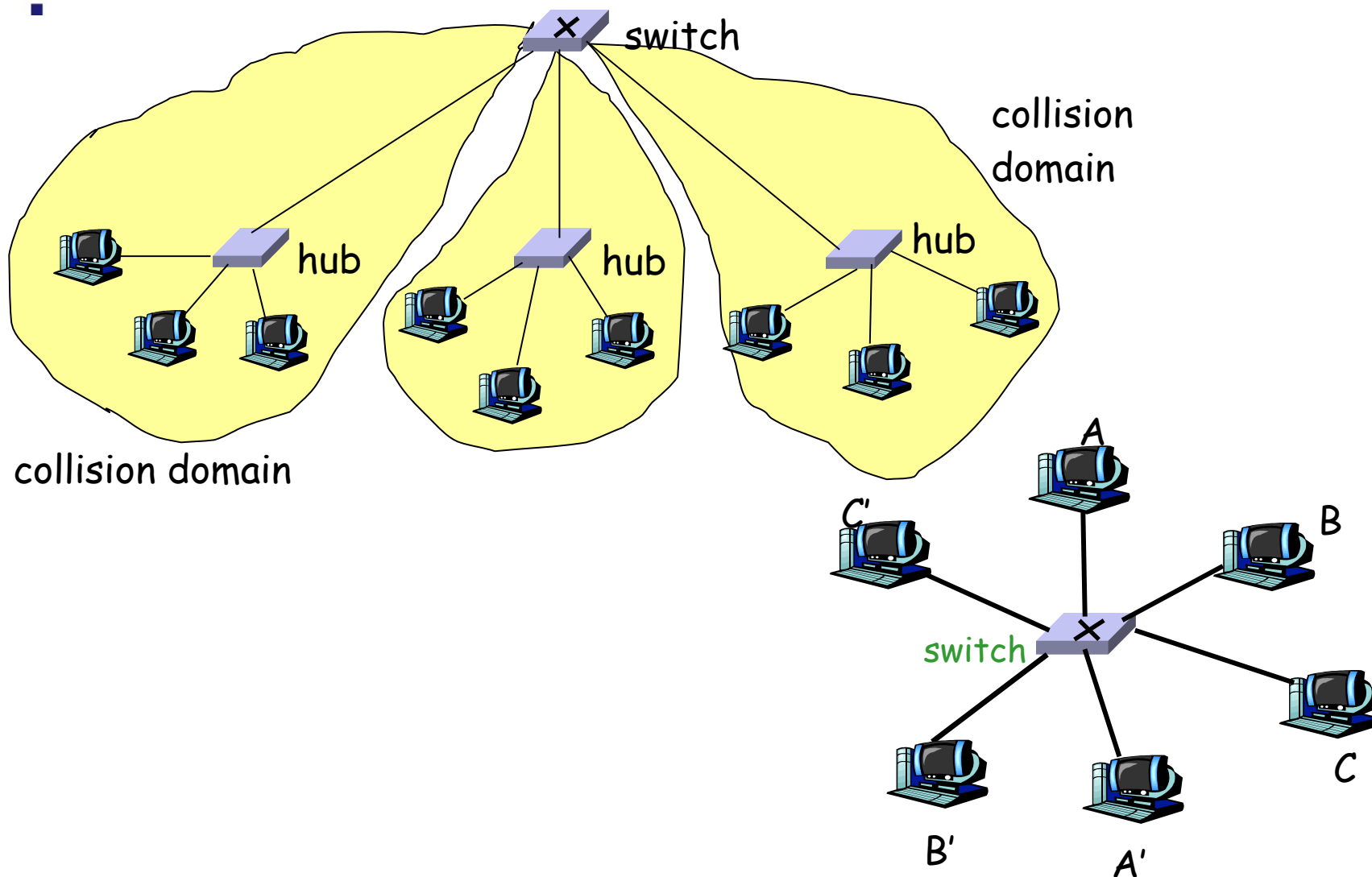
Tulvitus (flooding)

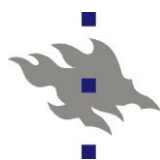
- Tulvitus voi olla ongelma
 - Kehykset voivat jäädä kiertämään silmukoissa
 - Koko verkko tukkeutuu
- Siis silmukoita ei saa muodostua!

- Verkon loogisen rakenteen pitää olla puu.



Rajoitetut törmäysalueet / ei törmäyksiä





Suorakytkentä (cut-through switching)

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



Vertailua

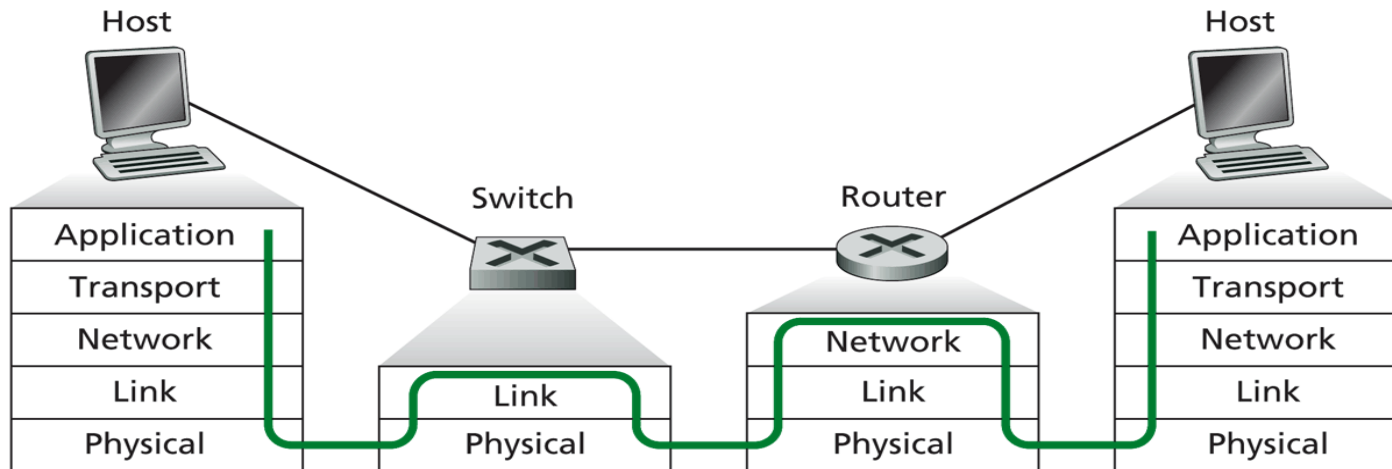


Figure 5.33 ♦ Packet processing in switches, routers, and hosts

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

KuRo05: Table 5.1

Kertauskysymyksiä

- Miten lähiverkko rakennetaan?
- Reititin vs. kytkin vs. keskitin?
- IP-osoite vs. MAC-osoite?
- ARP-protokolla ja ARP-taulu?
- KytKentätäulu?
- Bittivirheiden havaitseminen?
- Lähetyiskanavanjako?
- CSMA/CD?

ks. kurssikirja s. 493

