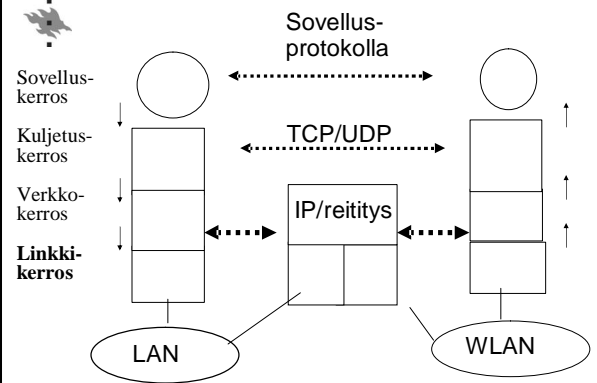


Tietoliikenteen perusteet

Linkkikerros

Kurose, Ross: Ch 5.1- 5.6



Sisältö

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

n Laitetoimintoa

n Siirtää paketin fyysisestä linkistä pitkin koneelta (solmulta (node)) toiselle

- langallinen / langaton
- bitit sisään, bitit ulos

n Kapseloi paketin siirtoon sopivaan muotoon

- n Siirtokehys (frame)

n Lähiverkossa linkejä voi yhdistää keskittimillä tai kytkimillä

- n Käytetään fyysisiä osoitteita
- n 'reititystä' ilman IP-osoitteita

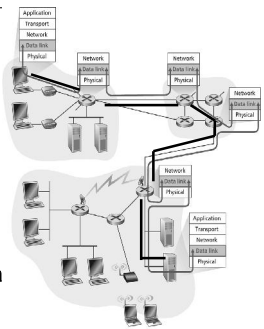


Figure 5.1 • The link layer

Linkkikerroksen tehtäviä

n Kehystys (framing)

Kehyksen rakenne ja koko riippuu siitä, millainen linkki on kyseessä
Otsake, data, loppuke

n Kohteen ja lähteen osoittaminen

Yhteiseen linkkiin voi olla liitettyä useita laitteita
Käytössä laitetason MAC-osoite (Medium access control)

n Yhteisen linkin varaus ja käyttö (link access)

Esim. langaton linkki, keskittimiin yhdistetyt linkit

n 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

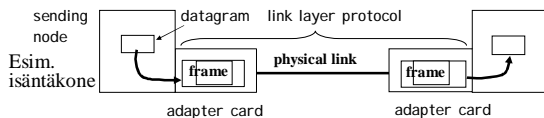
Virhevalvonta

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

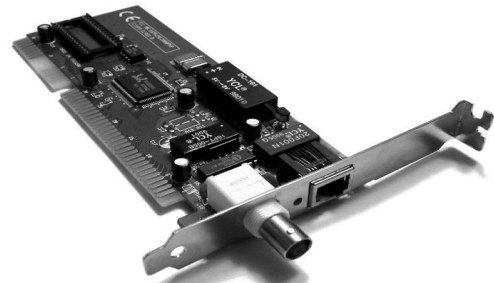
Esim. reittiin



Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

7

A 1990s Ethernet network interface card.



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 uudelleenlähetyt

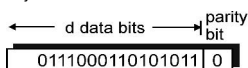
Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen

10

Pariteettitarkistus

Pariteettibitti

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

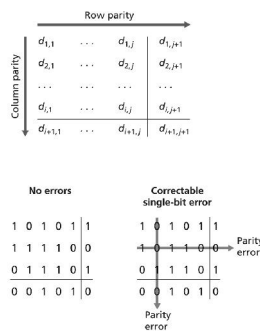


Kaksulottelinen pariteetti

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

Hamming-koodi

Korjaa yhden bitin virheen



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

CRC

- Käsittellee databittejä yhtenä kokonaislukuna
- Sovittu **virittäjäpolynomi G**
 - bittejä yksi enemmän kuin lisättäviä tarkistusbittejä (=r) eli r+1
- Lähetäjä
 - 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 l=0, niin on virhe.**

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

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen 13

CRC-esimerkki

Data: 101110
 G: 1001, polynomi $1*x^3 + 0*x^2 + 0*x^1 + 1*x^0$
 <D,R>: 101110???

Lähetä: 101110011

Modulo 2-aritmetiikka vähennyslasku yhteenlaskuja ei lainaamista, ei muistinumeroita = bittitaso XOR
 $1+1=0, 1+0=0+1=1, 0+0=0$

R ← 01

KuRo08:Fig 5.8

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen 14

Standardoituja virittäjäpolynomeja

- $G_{CRC-12} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
- $G_{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- $G_{CRC-32} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + \dots + x^4 + x^2 + x + 1$
 = 1 0000 0100 1100 0001 0001 1101 1011 0111

Virittäjäpolynomin merkittävin bitti =1

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

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen 15

Linkkikerros

Yhteiskäyttöinen kanava

Ch 5.3

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen 16

Yksi kanava

- Kaksipisteyhteys (point-to-point)**
 - PPP-protokolla, puhelin-yhteys (dial-up access)
 - Ethernet-piuhana kytkimen ja isäntäkoneen välissä
- Yleislähetisyhteys (broadcast)**
 - Alkuperäinen Ethernet, Ethernet keskittimen ja isäntäkoneen välissä, kaapelimodeemiyhteys (upstream), WLAN, satelliitti,

shared wire (e.g. Ethernet) shared wireless (e.g. Wavelan) satellite cocktail party

KuRo08: Fig. 5.9

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen 17

Lähetysvuorojen jakelu

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

Tietoliikenteen perusteet /2008/ Liisa Marttinen 18

Tätä tavoitellaan

Pieni yleisrasite

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

Tasapuolisuus

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

Toimintavarmuus

- n Yksikään solmu ei ole erikoisasemassa, koordinaattorina
- n Ei kellojen sykronointia tms

- n Hajautettu vuoroista sopiminen

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

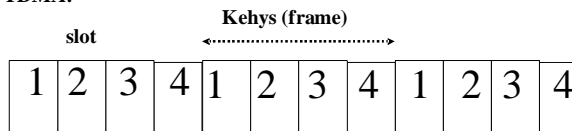
n Anna aikaviipale kullekin kanavaan kytketylle vuorotellen

Koko kanava on hetken yksityiskäytössä => R/M bps

Ehtii lähettää yhden kehyksellisen (data frame)

Vaikka lähetettävää ei olisi, aika viipale on silti varattuna

TDMA:



Kanavanjako: FDMA

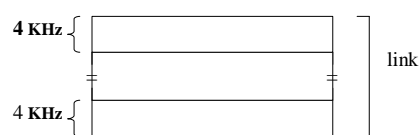
n FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Jaa kanavan taajuusalueet kanavan käyttäjien (varaajien) kesken

- n **Vain osa kanavasta yksityisessä käytössä => R/M bps**

- n **Varattuna, vaikka ei olisi lähetettävää**

FDM:



Kanavanjako: CDMA

n 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

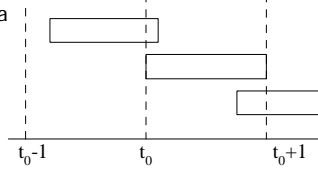
- n Miten törmäys huomataan
- n Miten törmäyksestä toivutaan

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%



Viipaloitu Aloha (slotted Aloha)

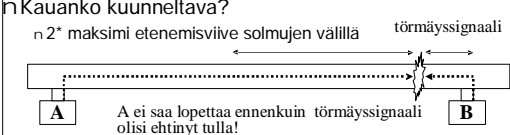
- n Lähetysaika jaettu aikaviipaleiksi (slot)
 - n Kaikki siirtokehukset samankokoisia => siirtoaika aina vakioittainen
- n Lähetys voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
 - n Törmäykset täydellisiä => törmäysaika = yhden aikaviipaleen mittainen
- n Solmut synkronoitava: aikaviipaleen alku
- n Jos törmäys, 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

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 Etenemisviiveen 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

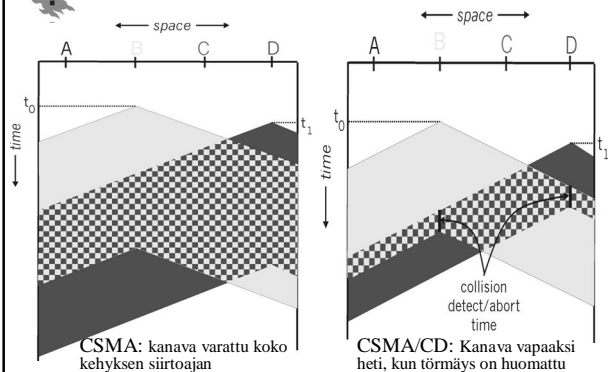
CSMA/CD (with Collision Detection)

- 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 etenemisviive solmujen välillä



CSMA ja törmäys

KuRo08: Fig. 5.13 ja 5.14



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

Linkkikerros

Linkkikerroksen osoitteet

Ch 5.4

Linkkikerroksen fyysinen osoite

- 32 bitin IP-osoite verkkokerroksella
 - Reiittymisen 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

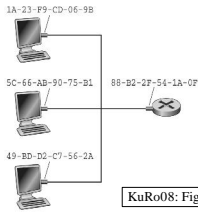
Analogia:

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 reiittymisen perusteena
 - Paketti saapuu kohdeverkon reiittimelle
- Miten selvitetään IP-osoitetta vastaava MAC-osoite?
 - Oikea verkko saavutettu, mutta mille koneelle?

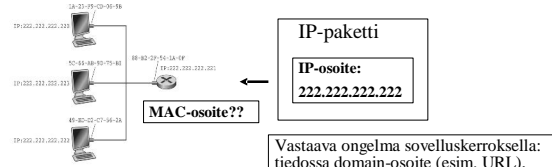


Figure 5.17 * Each node on a LAN has an IP address, and each node's adapter has a MAC address.

Vastaava ongelma sovelluskerroksella: tiedossa domain-osoite (esim. URL), mutta tarvitaan IP-osoite!
Ratkaisu DNS!

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

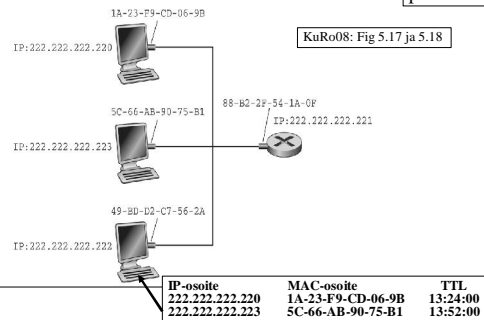
"Kenen IP-osoite on 'xx:yy:zz:vv'?"

"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 reiittimessä) jokaiselle aliverkolle oma taulunsa
 - Tiedot vanhenevat n. 20 minuutissa (time-to-live)

MAC-osoitteet ja ARP-taulu

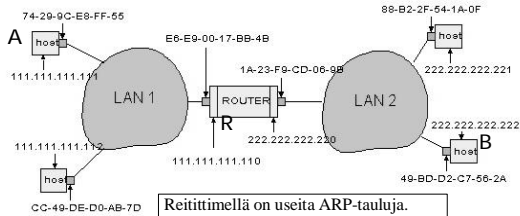
Minkä kerroksen protokolla?



KuRo08: Fig. 5.17 ja 5.18

Lähtettäminen toiseen verkkoon (1)

- Ensimmäiselle 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



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.

Linkkikerros

Ethernet

Ch 5.5

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)

10BaseT ja 100BaseT

10 Mbps tai 100Mbps (Fast Ethernet, FE)

T = Twisted Pair eli kierretty pariakaapeli

Maks. etäisyys keskitimeen 100 m

Keskittin (hub) toistaa bitit heti sellaisenaan muille

Fyysisen tason toistin (repeater); yleislähetys

Signaalin vahvistus

Verkkokortit käsittelevät törmäykset

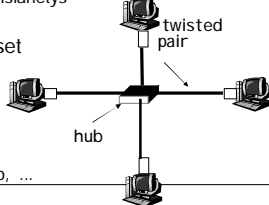
Maks. 30 konetta / keskitin

Keskittin 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 keskitimen välityksellä

CSMA/CD

Kaksipisteyhteydet

ei törmäyksiä

koneet yhdistetty **kytkimien** kautta

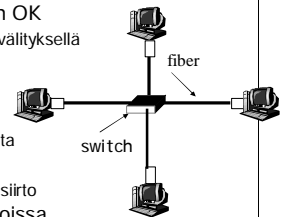
pitkät välimatkat mahdollisia

kaksisuuntainen täysivauhtinen siirto

Käytetään yleisesti runkoverkoissa

verkkojen yhdistely (reititin -> reititin)

valokaapeli, myös cat5/cat6 pariakaapeli



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

n Data-osan pituus min 46 B

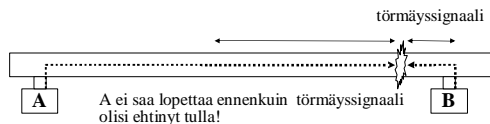
n Tarvittaessa täytetäviä (pad), jotka vastaanotto poistaa

n Lähettäjän ehdittävä huomata mahdollinen törmäys

n Kehyksen lähetyksen ei saa päättyä ennenkuin alku on perillä ja mahdollinen törmäysään kuuluu

- Alku perillä -> loppukin onnistuu

n Lähetyksen minimikesto = $2 \times$ etenemisvive



Epäluotettava siirto

n Ethernet ei kätele, ei kuittaile

n Uudelleenlähetyksen vain, jos törmäys

n Mutta tarkistussumma

n 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)

n Carrier Sense

n Kuuntele, onko väylä vapaa (96 b:n ajan)

n Jos vapaa, lähetä heti

n Muuten odota ja lähetä, kun linja vapautuu

n Collision Detection

n Kun lähetetty, kuuntele onnistuiko

n Törmäys?

n Huomaa signaalin voimakkuudesta

n Lopeta kehyksen lähetyksen heti

n Lopeta 48 bitin soikussignaali (jam): muutkin huomaavat varmasti

n Random Access

n Odota törmäyksen jälkeen satunnainen aika

Törmäys

n Binary Exponential Backoff

n Kun kuorma kasvaa eli törmäykset lisääntyvät, uudelleenryitysten väli kasvaa

n Odota törmäyksen jälkeen

n $N \times 512$ bitin = 64 tavun siirtoon kuluva aika = minimikehyksen

n 1. törmäys: $N = 0$ tai 1

n 2. törmäys: $N = 0, 1, 2$ tai 3

n k:s törmäys: $N = 0, \dots$ tai $2^k - 1$

n 10. törmäyksen jälkeen ei enää kasvata väliä [0-1023]

n 16 törmäyksen jälkeen luopuu ja ilmoittaa 'asiakkaalle' (eli verkkokerrokselle) epäonnistumisesta

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

Signaalien koodaus

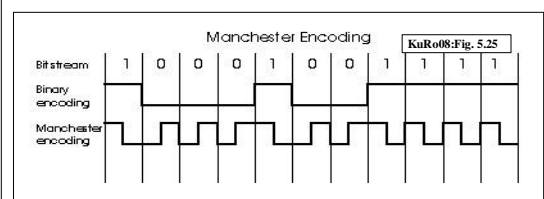
n Lähettäjän ja vastaanottajan kellopulssit on tahdistettava

n Manchester-koodaus (10BaseT)

n Ethernetissä ei ole kellopulssia, tahdistus osana bittijonoa

n Jännitemuutos aina keskellä bittiiä

- 1-bitti: ylhäältä alas, 0-bitti: alhaalta ylös



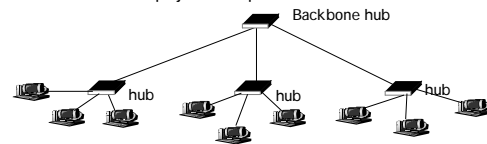
Linkkikerros

Keskitin, kytkin

Ch 5.6

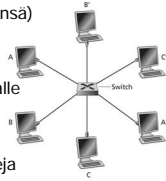
Keskitin (hub)

- 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)

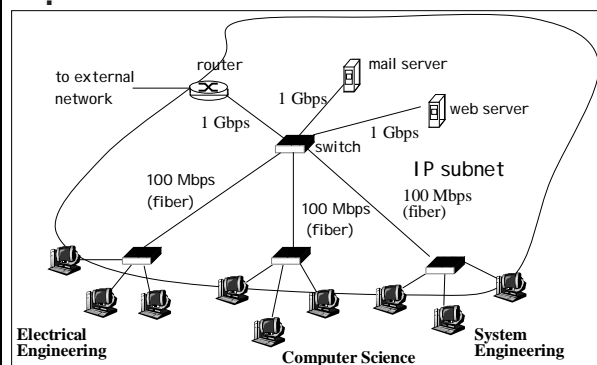
- Toimii linkkikerroksella (layer-2)
 - Käsittelee siirtokehyksiä, useita yhtäaikaista yhteyksiä
- Vastaanottaa ja lähettää kokonaisia kehyksiä
 - Etappivälitys (store and forward) (yleensä)
- Ei törmäyksiä
 - Suora piuha koneelta kytkimeen
 - Kytkin lähettää ulos vain yhdelle piuhalle
- Voi yhdistää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



A switch providing dedicated Ethernet access to six hosts

KuRo08: Fig. 5.24

LAN, verkkosegmentit



Kytkin ja kehyksen välitys

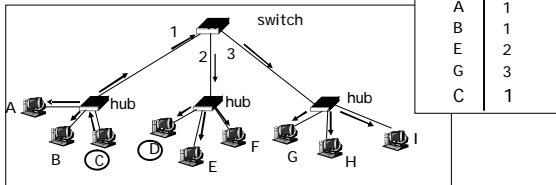
- Miten kytkin osaa välittää kehyksen juuri oikeaan piuhaan?
- Se kerää itse ('oppii') tarvittavat tiedot
 - **takaperinoppimista** (backward learning): saapuva kehys kertoo, mistä linkistä **lähettäjä** saavutetaan
- Ylläpitää kytkentätaulukkoa (MAC-osoite, linkki, TTL)
 - TTL-aikaleima: poista ne,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

Kytkentätaulu (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

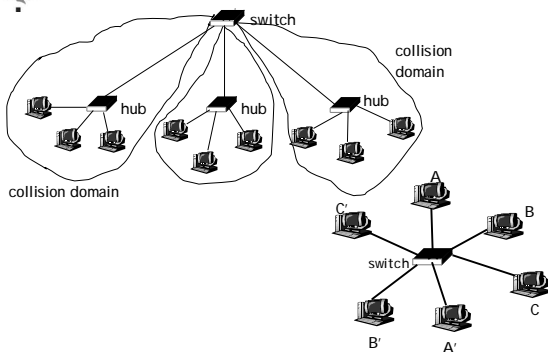


- r Kytin vastaanottaa kehyksen (A ja B kuulevat myös)
 - m Merkitsee tauluun C:n MAC-osoitteen ja portin 1
 - m Koska D ei ole taulussa, tulvittaa linkeilla 2 ja 3.
- r D vastaanottaa kehyksen (E ja F kuulevat myös)

Tulvitus (flooding)

- n Tulvitus voi olla ongelma
 - n Kehykset voivat jäädä kiertämään silmuissa
 - n Koko verkko tukkeutuu
- n Siis silmuja 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 Välytyspäätöksen 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

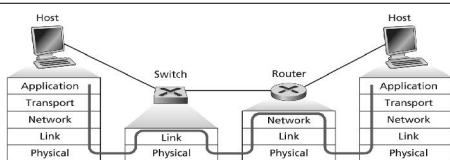


Figure 5.33 ♦ Packet processing in switches, routers, and hosts

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

KuRo8: 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

