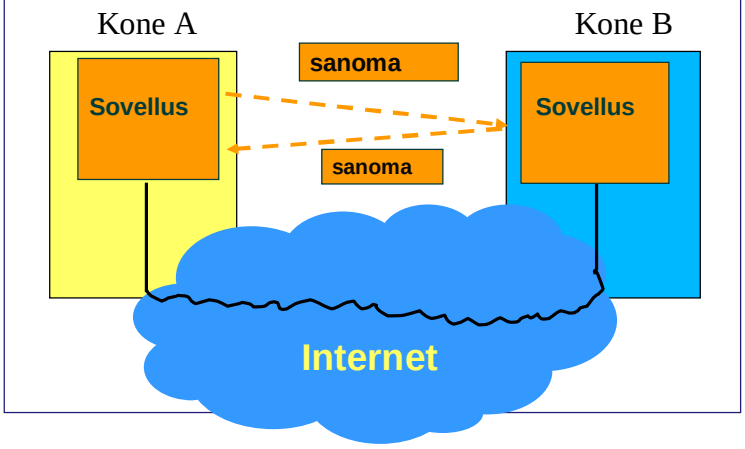
TIETOLIIKENTEEN PERUSTEET kevät 2009

Tässä on koottuna kalvot, joita käytettiin apuna kerrattaessa luentokerran alussa edellisen luentokerran pääkohtia.



Kertausta: termejä ja käsitteitä

internet – intranet - extranet
palvelu - protokolla
yhteydetön – yhteydellinen
luotettava - epäluotettava
isäntäkone - reititin - linkki
asiakas-palvelin-malli - vertaistoimijamalli
piirikytkentä - pakettikytkentä
kanavointi: taajuusjako - aikajako

siirtonopeus – siirtoaika
etenemisviive - jonotusviive

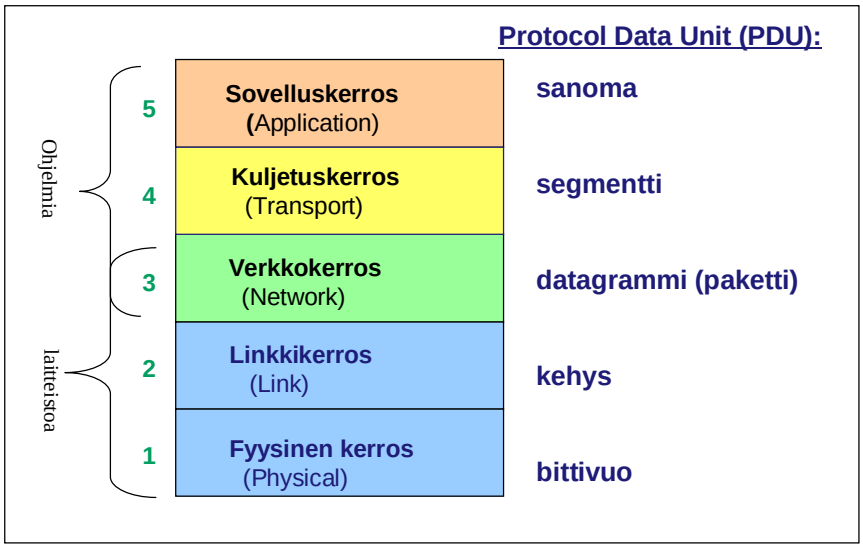
Kertaus jatkuu:

pakettivälityksen tehokkuus
sopii purskeiseen liikenteeseen
etappivälitys – sanoma paketeiksi
paketin otsake – yleisrasite

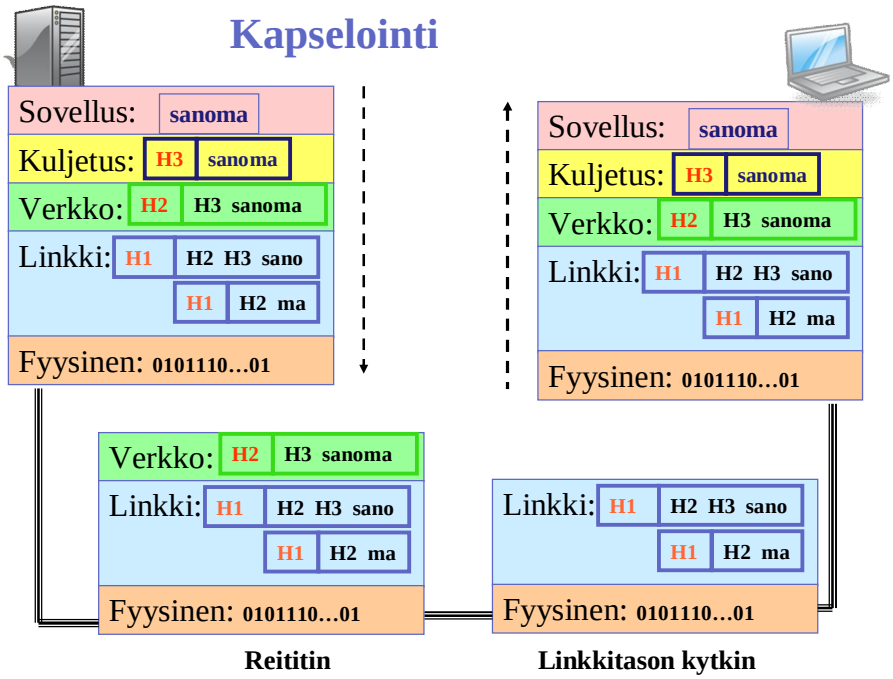
pääsy Internettiin: kaapelimodeemi, ADSL, lähiverkko, langaton yhteys
fyysinen siirtomedia: kierretty pari, koaksiaalikaapeli, valokaapeli, sähkömagneettinen aaltoliike

siirtovirhe: signaalin vaimeneminen ja vääristyminen, häiriöt => bittivirheitä
analoginen signaali – digitaalinen signaali

Internet-protokollapino



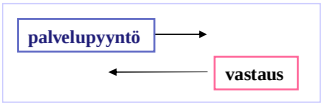
Kapselointi



Sovellusarkkitehtuuri

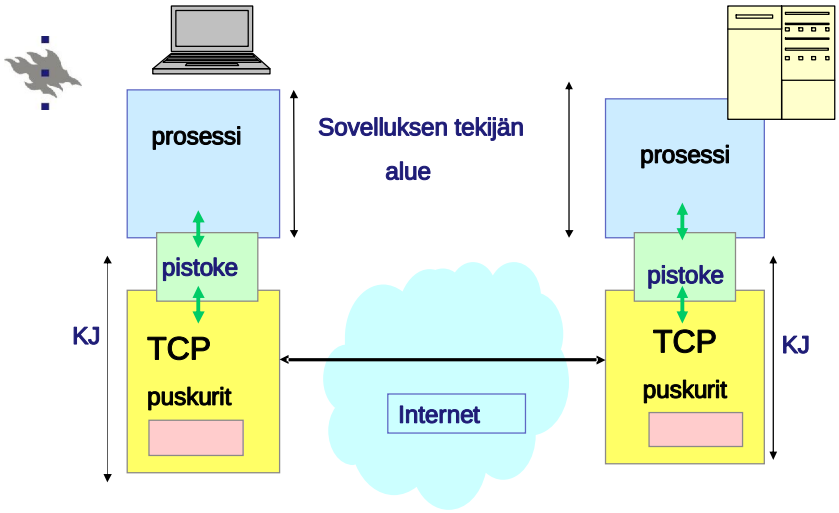
- **Asiakas-palvelija-malli** (esim. selain ja www-palvelin)
  - Aina toiminnassa oleva palvelinohjelma, jolla kiinteä, tunnettu IP-osoite
  - Asiakasohjelmat ottavat yhteyttä palvelimeen ja pyytävät siltä palvelua

Google, e-Bay, Facebook, YouTube, Amazon, ..



- **Vertaistoimijamalli** (esim. BitTorrent, eMule, Skype)
  - Vertaisisännät kommunikoivat suoraan keskenään
  - Ei tarvitse olla aina toiminnassa, IP-osoite voi muuttua
  - Jokainen toimii sekä palvelijana että asiakkaana

- **Hybridimalli** (esim. Napster, pikaviestimet)



KJ = käyttöjärjestelmä

Prosessien kommunikointi TCP-pistokkeita käyttäen

Osoittaminen

- **Sanomissa oltava lähettäjän ja vastaanottajan IP-osoite ja porttinumero**

- **IP-osoite à oikea kone** **www.iana.org**
  koneen (verkkokortin) yksilöivä 32-bittinen tunniste
  osoitteen verkko-osa yksilöi verkon
  osoitteen koneosa yksilöi koneen verkossa

- **porttinumero à oikea prosessi**
  Yleisillä palveluilla standardoidut tunnetut porttinumerot:
  - www-palvelin kuuntelee porttia 80,
  - Postipalvelin kuuntelee porttia 25

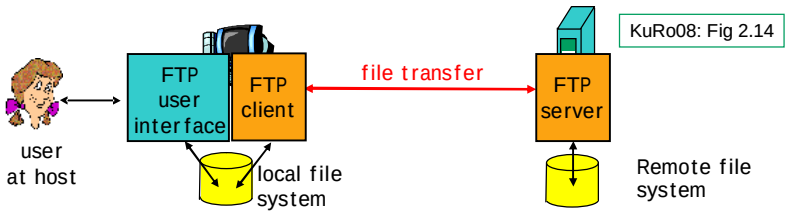
  KJ osaa liittää porttinumeron prosessiin

HTTP -protokolla

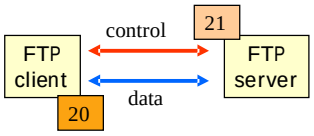
- Request –sanoma
  - GET, HEAD, POST, PUT, DELETE
  - sanoman muoto
- Response- sanoma

- Tilaton protokolla => eväste (cookie)
- Käyttää TCP:tä
  - Säilyvä yhteys
  - Liukuhihna (pipeline)
- Verkkovälimuisti (proxy server)
  - Ehdollinen GET

FTP: File Transfer Protocol (RFC 959)

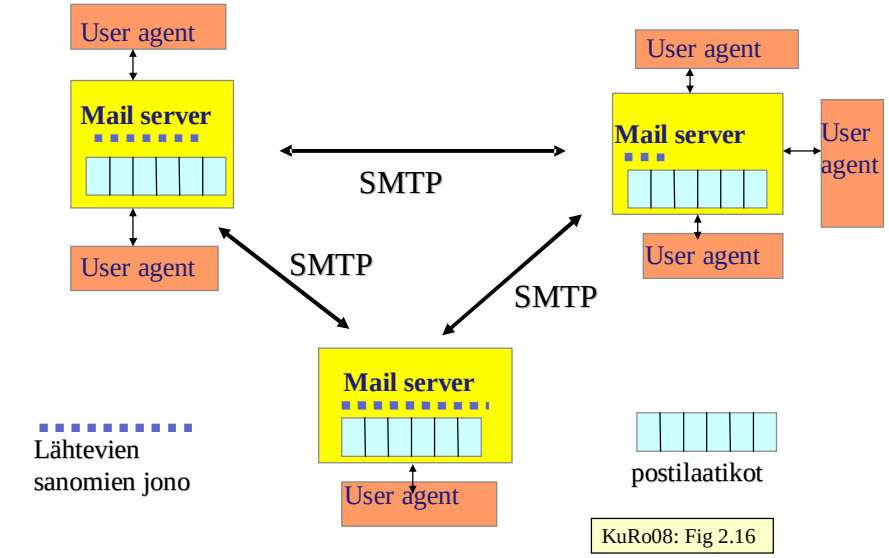


- Tiedostojen kopioiminen koneelta koneelle
  Asiakas voi selata etäkoneen hakemistoissa FTP–sanomilla, voi noutaa tai tallettaa haluamansa tiedoston (download/upload)
- FTP-palvelin kuuntelee porttia 21
  yhteys kontrollitiedon välitystä varten
- Asiakas kuuntelee porttia 20
  palvelija avaa tiedoston siirtoa varten
- FTP-palvelin **ylläpitää tilatietoa**
  mm. työhakemiston polku, autentikointi



2 TCP-yhteyttä

Sähköpostin komponentit



KuRo08: Fig 2.16

Esimerkki

S: 220 helsinki.fi
C: HELO princeton.edu
S: 250 Hello princeton.edu

SMTP:n kättely

tai EHLO

C: MAIL FROM: <Bob@princeton.edu>
S: 250 <Bob@princeton.edu> OK
C: RCPT TO: <pekka.puupaa@cs.helsinki.fi>
S: 250 <pekka.puupaa@cs.helsinki.fi> OK
C: DATA
S: 354 Enter mail, end with "." on a line by itself
C: dataa ... dataa
C: dataa ... dataa
C: .
S: 250 Message accepted for delivery

Viesti(t)

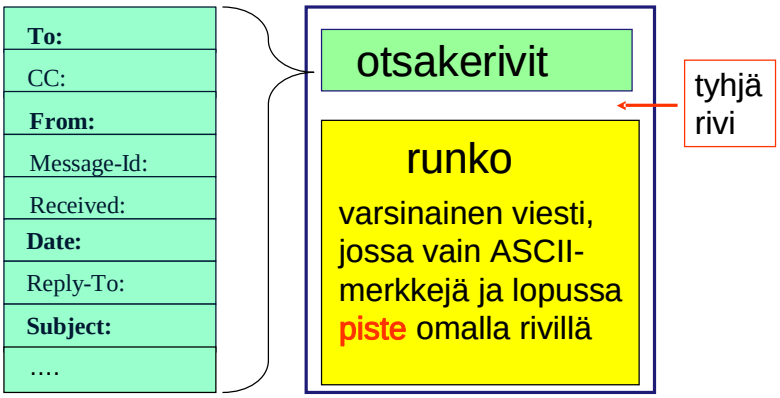
C: QUIT
S: 221 princeton.edu closing connection

SMTP:n lopetus

Sähköpostiviestin rakenne

Eri asia kuin SMTP: eri standardit (RFC 822)

Esim.



MIME

- **MIME-sisältötyyppejä**
  - text/plain; charset=us-ascii
  - text/html
  - image/gif, image/jpeg,
  - video/mpeg
  - application/postscript
  - application/msword
  - application/octetstream
  - multipart/mixed
- **Base-64-koodaus**
  - Sanoma 24 bitin ryhmät on jaettu 6 bitin osiksi, jotka kukin on koodattu ASCII-merkiksi.
  - 64 eri vaihtoehtoa

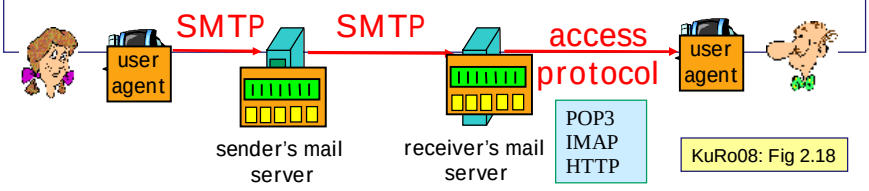
MIME-versio:
Content-Transfer-Encoding:
Content-Type:

Postinnoutoprotokollat (mail access protocols)

Koska SMTP on 'PUSH'-protokolla, sitä ei voi käyttää sanomia haettaessa ('PULL').

Posti omalta postipalvelimelta postiohjelmaan

- **POP3:** Post Office Protocol versio 3
  Viestien lataamiseen omalle koneelle, ei postikansioita
- **IMAP:** Internet Mail Accress Protocol
  Monipuolisempi: postikansiot (folders), lataa vain otsikot, viestien säilytys postipalvelimelle
- **HTTP**: Esim. TKTL:lla käytettävä IlohaMail, Hotmail, …
  Web-palvelija käyttää IMAP-palvelijaa

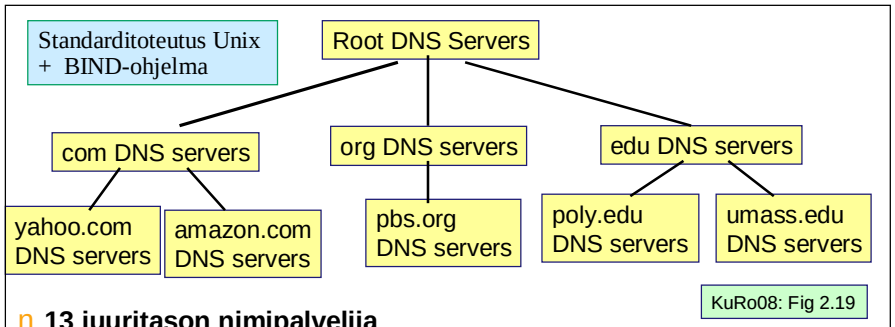


KuRo08: Fig 2.18

DNS (Domain Name System)

- **Hakemistopalvelu ja sovelluskerroksen protokolla**
  - **Isännät ja nimipalvelimet käyttävät**
  - **Käyttää itse UDP-kuljetuspalvelua DNS-sanomien kuljettamiseen**
- **Nimien muuttaminen IP-osoitteiksi (ja päinvastoin)**
  - **Posix: gethostbyname(hydra.cs.helsinki.fi) 218.214.4.29**
  - **Kone = hydra =29, verkko= cs.helsinki.fi = 218.214.4.0**
- **Sallii aliasnimet, palvelijan replikoinnin**
  - **Esim. WWW.cs.helsinki.fi ja cs.helsinki.fi ovat aliasnimiä**
  - **Esim. www-palvelijaan voi liittyä useita IP-osoitteita, rotaatio**
- **Hajautettu, hierarkinen tietokanta (hakemisto)**
  - **Toteutettu useiden replikoitujen nimipalvelimien yhteistyönä**
  - **skaalautuvuus, kuormantasaus, ylläpito, vikasietoisuus, ..**
  - **Jos oma nimipalvelija ei tunne, se kysyy muilta.**

Hajautettu, hierarkinen tietokanta



KuRo08: Fig 2.19

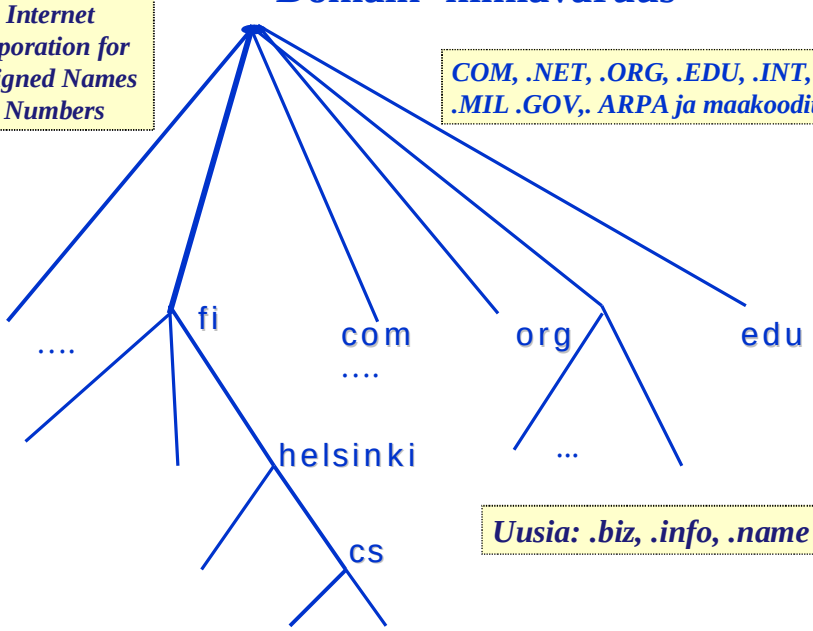
- **13 juuritason nimipalvelija**
  Replikoituja, kaikilla samat tiedot
- **Ylätason palvelimet maa- ja yleistunnuksille** (n. 265 kpl)
  …, fi, fr, uk, … edu, net, com, org, …
- **Autorisoidut aluepalvelimet** (domain) (2-taso)
  Isoilla yliopistoilla ja firmoilla omansa, pienet käyttävät jonkun muun ylläpitämää

www.iana.org

Domain -nimiavaruus

ICANN
The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

COM, .NET, .ORG, .EDU, .INT, .MIL .GOV,. ARPA ja maakoodit



Uusia: .biz, .info, .name

Skaalautuvuus

KuRo08: Fig. 2.24

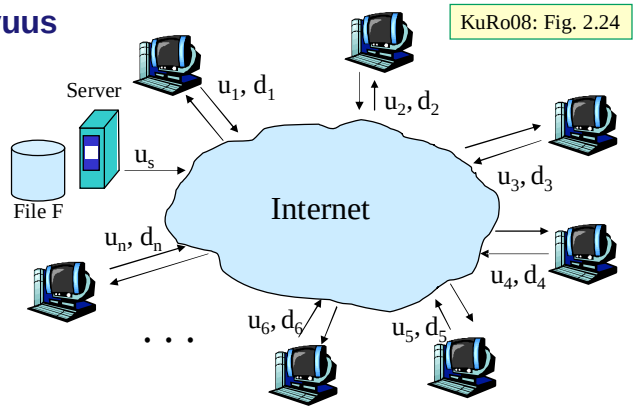
Asiakas-palvelinmalli:

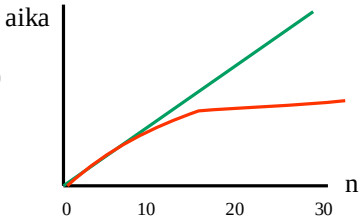
Palvelimen siirrettävä n*F bittiä => siirtoaika = nF/u_s.

Hitain asiakas d_{min} saa tiedoston ajassa F/d_{min}

Siirtoaika = max (nF/u_s, F/d_{min})

Kun n kasvaa, palvelimen kuorma kasvaa ja siirtoaika kasvaa.



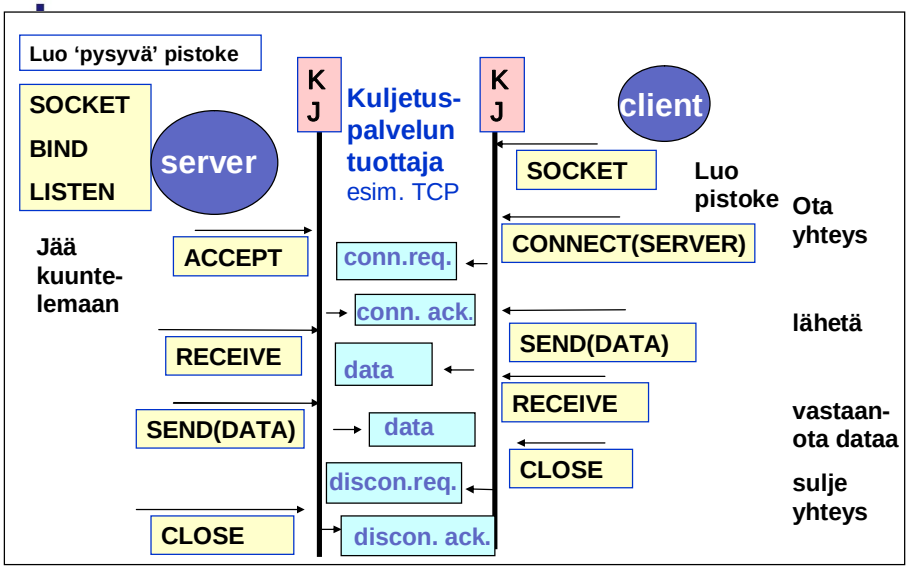


Vertaistoimijamalli (alussa tiedosto on palvelimella)

Siirtoaika = max (F/u_s, F/d_{min}, $nF/(u_s + \sum u_i)$)

Summamerkki

TCP-kuljetuspalvelu

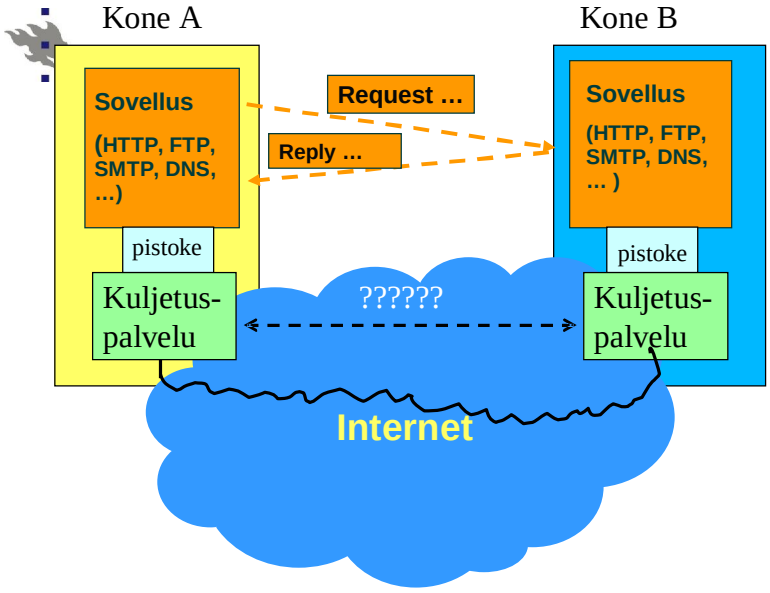


Esimerkki: TCP-asiakas (Java)

```
import java.io.*;  import java.net.*;
class TCPClient {
   public static void main(String argv[]) throws Exception {
      String sentence;
      String modifiedSentence;
      BufferedReader inFromUser =
         new BufferedReader(new InputStreamReader(System.in));
      Socket clientSocket = new Socket("hostname", 6789);
      DataOutputStream outToServer =
          new DataOutputStream(clientSocket.getOutputStream());
      BufferedReader inFromServer =
           new BufferedReader(new InputStreamReader(
                clientSocket.getInputStream()));
      sentence = inFromUser.readLine();
      outToServer.writeBytes(sentence + '\n');
      modifiedSentence = inFromServer.readLine();
      System.out.println("FROM SERVER: " + modifiedSentence);
      clientSocket.close();
   }
}
```

yhteyspyyntö

Sulkee myös TCP-yhteyden



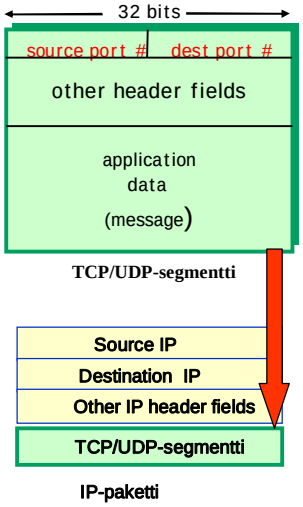
Mikä kone /Mikä prosessi?

- Kuljetuskerros tarjoaa päästä-päähän yhteyden
  - Prosessilta prosessille (= pistokkeesta pistokkeeseen)
  - Prosessi lukee ja kirjoittaa sanomia halutessaan
- Datan lisäksi on välitettävä osoitetietoja
  - Vastaanottajan ja lähettäjän tiedot
  - Eri koneiden prosessit voivat käyttää samaa palvelua
  - Saman koneen prosessit voivat käyttää eri palveluita
- Kuljetuskerros: mikä prosessi = mikä portti
- Verkkokerros: mikä kone = mikä IP-osoite
- Porttinumero
  - 16-bittinen: 0 – 65535
  - Portit 0 – 1024 on varattu kukin tietylle palvelulle (well known ports)
    - Esim. www-palvelulle portti 80, SMTP-postipalvelulle portti 25

Mikä kone /Mikä prosessi?

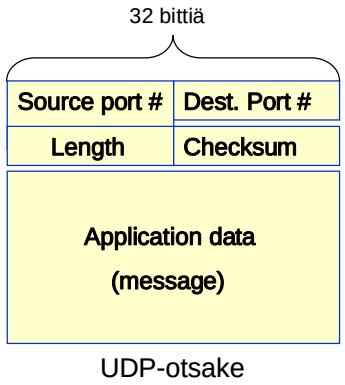
Lähetys (asiakas)

- **Kuljetuskerros**
  - **Segmentin otsakkeessa lähde- ja kohdeprosessin porttinumero**
  - **Antaa segmentin verkkokerroksen välitettäväksi**
  - **TCP: huolehtii myös luotettavuudesta**
  - **UDP: tarjoaa pelkän välityspalvelun**
- **Verkkokerros**
  - **Paketin otsakkeessa lähde- ja kohdekoneen IP-osoite à reitittimet osaavat ohjata oikealle koneelle**



UDP-segmentin rakenne

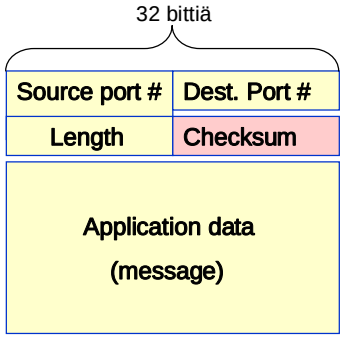
- **Porttinumerot**
  - Koska on prosessien välinen palvelu
- **Length**
  - Segmentin kokonaispituus otsake (8 B) mukaanluettuna
- **Checksum (optionaalinen)**
  - Bittivirheen havaitsemiseen
  - UDP ei yritä toipua, hävittää segmentin
- **Data**
  - Pitkä sanoma pilkottuna useaksi segmentiksi
- **IP-osoitteet vasta verkkokerroksen otsakkeessa**
  - Näitä tarvitaan **reitityksessä**



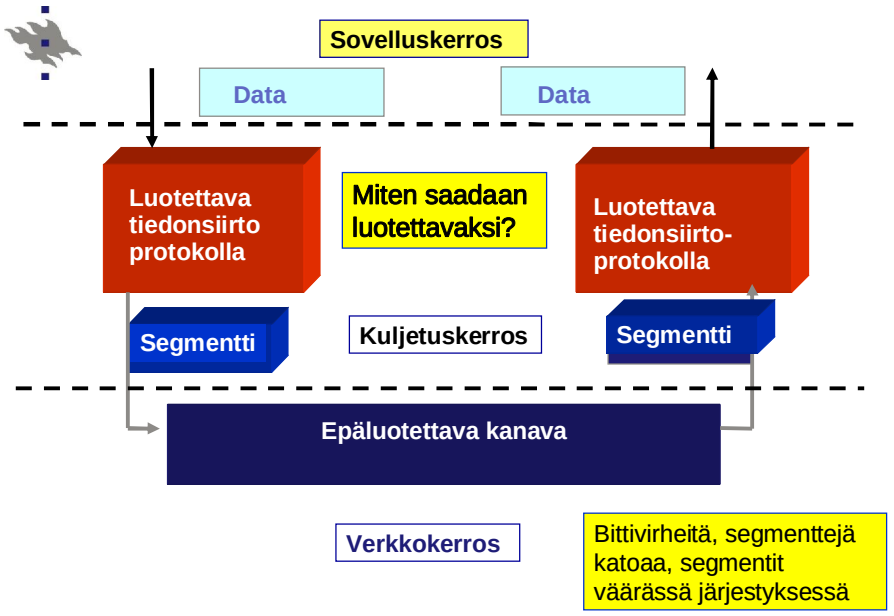
UDP-otsake

UDP-tarkistussumma

- **Lähetys**
  - **Summaa 16 bitin kokonaisuudet (otsake + pseudo-otsake mukana), ylivuotobitit lasketaan mukaan, talleta yhden komplementtina**
- **Vastaanotto**
  - **Summaa 16 b kokonaisuudet (myös tarkistussumma).**
  - **Jos tuloksena on 16 ykköstä, niin OK!**

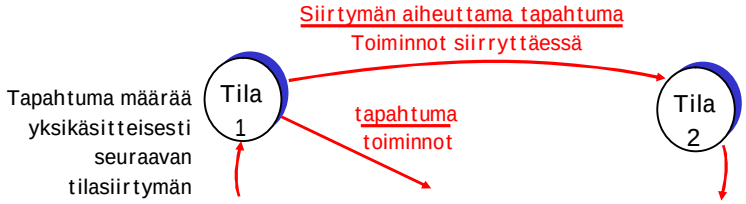


UDP-otsake

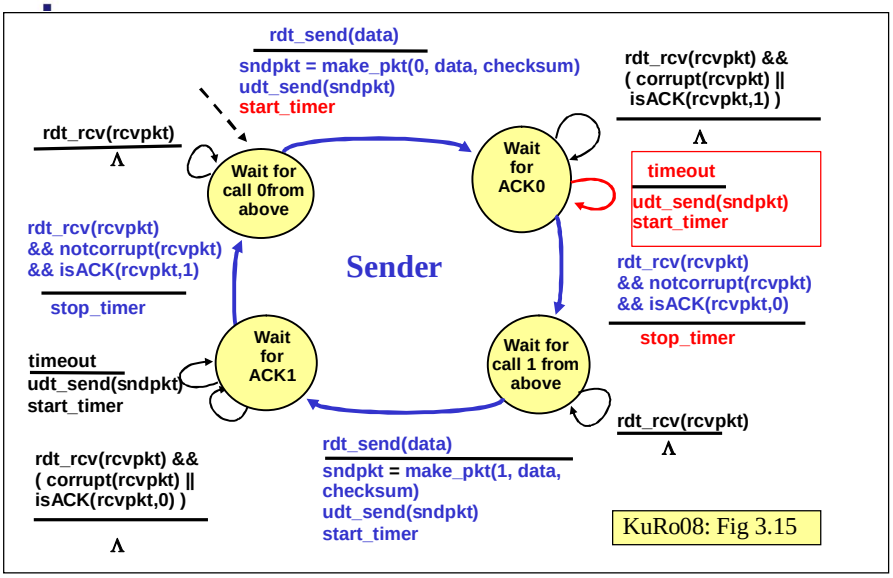


Kuinka saada luotettavaksi?

- Tarkastellaan yleisesti luotettavan tiedonsiirron ongelmia ja erilaisia ratkaisuyrityksiä
  - Edeten ideaalitilanteesta yhä ongelmaisempaan
  - Käyttäen äärellisiä tila-automaatteja lähettäjän ja vastaanottajan toiminnan kuvaamiseksi

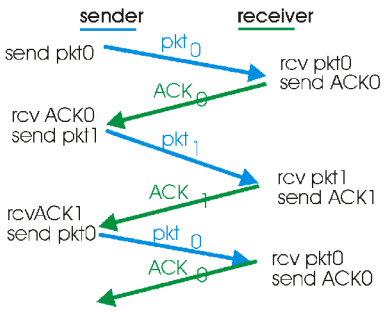


rdt3.0

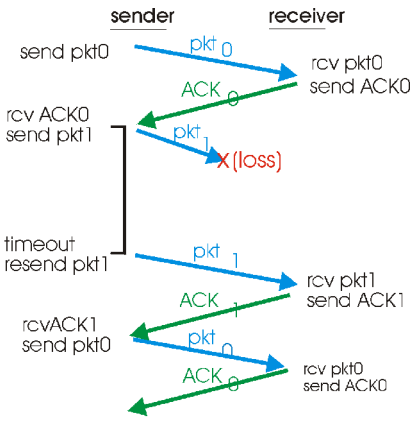


KuRo08: Fig 3.15

rdt3.0 toiminnassa



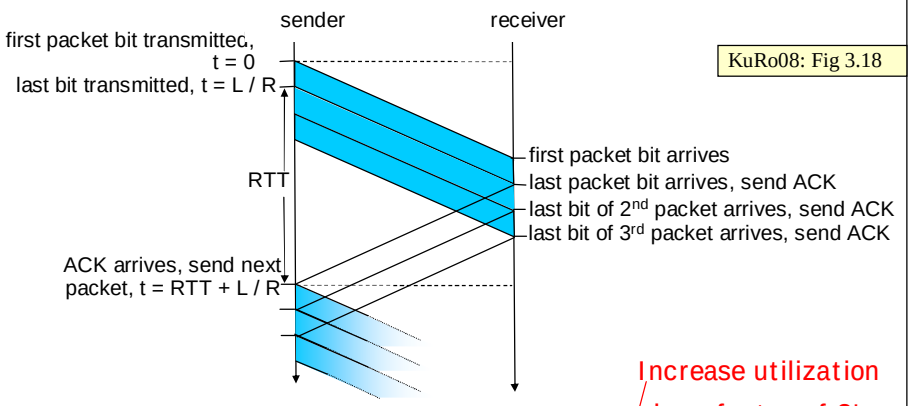
(a) operation with no loss



(b) lost packet

KuRo08:Fig 3.16

Liukuhihnoitus: käyttöasteen kasvattaminen



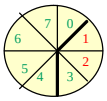
KuRo08: Fig 3.18

Increase utilization by a factor of 3!

$$U_{sender} = \frac{3 * L / R}{RTT + L / R} = \frac{.024}{30.008} = 0.0008$$

(0.00028)

Liukuva ikkuna (sliding window)



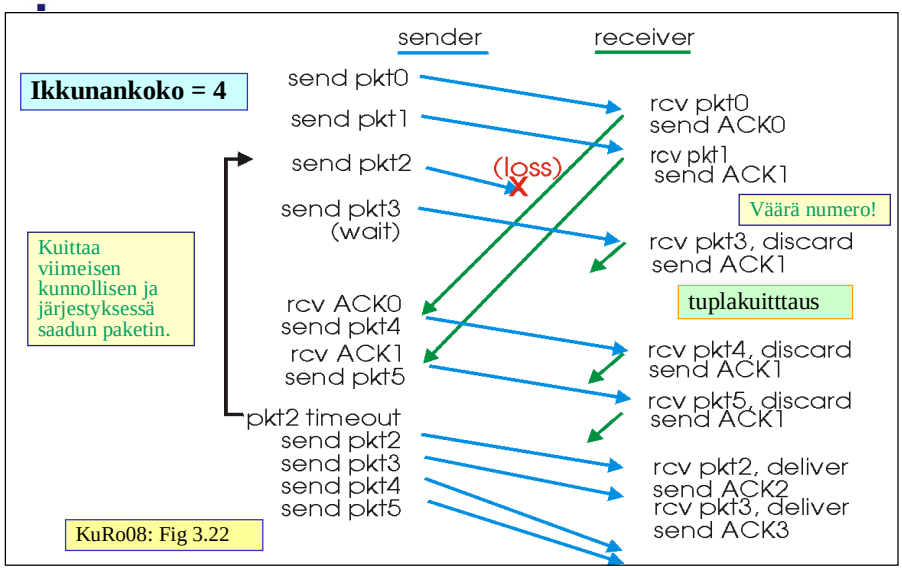
- **Säätelee pakettien lähettämistä ja vastaanottoa**
  - **Kertoo millä pakettinumeroilla on lähetetty/vastaanotettu, mistä saatu/lähetetty kuittaukset ja millä numeroilla voi vielä lähettää/vastaanottaa paketteja**
  - **Ikkunan koko** riippuu yhteyden tyypistä ja puskurien koosta

…10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 ….

- **Lähetysikkuna** (sender window)
  - Ikkunan koko = montako pakettia saa olla kuittaamatta
  - Mitkä pakettinumerot on käytetty, mutta kuittaamatta
  - Mitä pakettinumeroita voi vielä käyttää
- Lähettäjän on odotettava, jos kaikki ikkunan numerot on käytetty
- Kun kuittaus saapuu, ikkuna liukuu
  - Seuraavat numerot tulevat luvallisiksi

Go-Back-N: Esimerkki

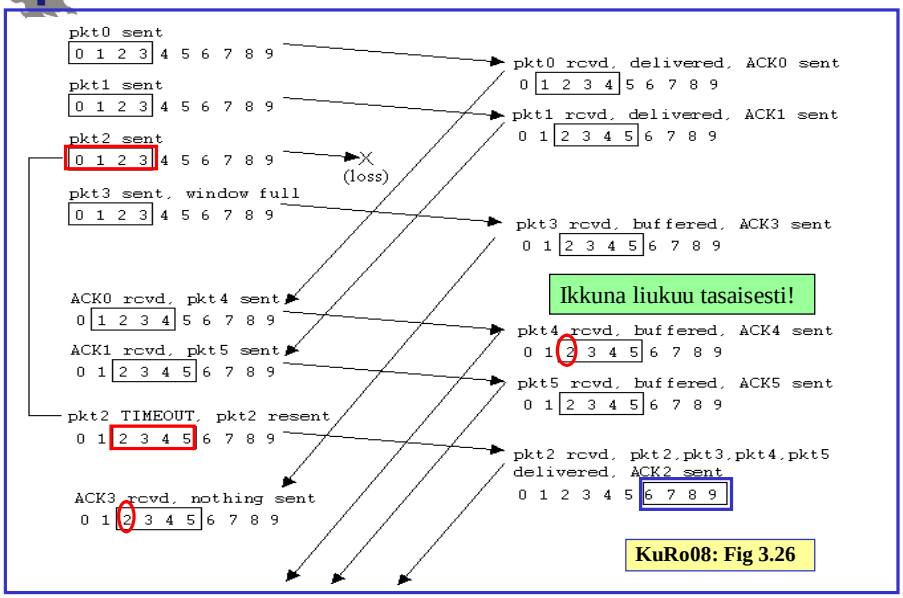
Kumulatiivinen kuittaus



KuRo08: Fig 3.22

Esimerkki: Valikoiva toisto

Jokainen sanoma kuitattava erikseen



KuRo08: Fig 3.26

Yhteenveto menetelmistä

- Ks. KuRo08 Table 3.1
- Tarkistussumma
- Ajastin
- Järjestysnumero
- Kuittaukset
  - Positiiviset ACK, tuplakuittaukset
  - Negatiiviset NAK
- Ikkunat, liukuhihnoitus

Yhteyden muodostus

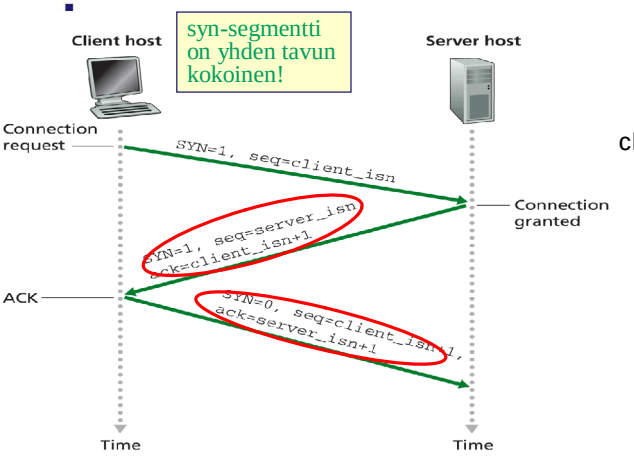
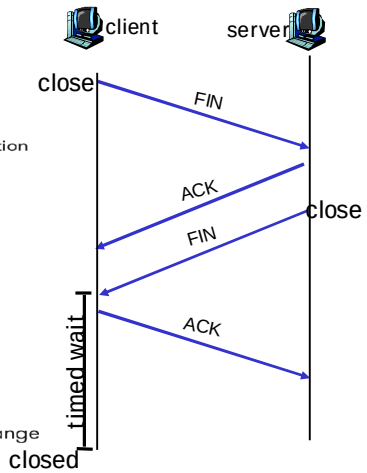
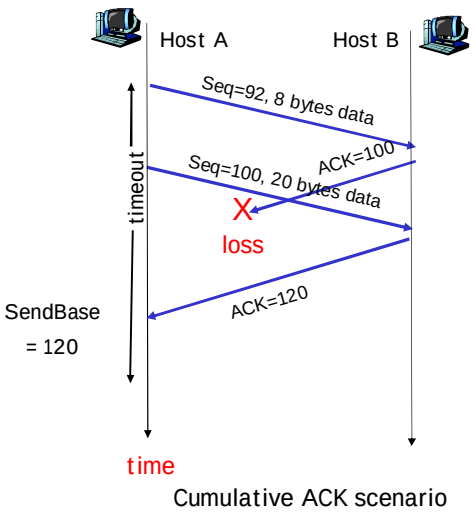


Figure 3.38 ♦ 3.39 three-way handshake: segment exchange

Yhteyden purku



TCP: uudelleenlähetys (2)



Cumulative ACK scenario

KuRo08: Fig 3.36

- Checksum
- Tavunumerointi
- Kumuloiva kuittaus
  Toistokuittaus
- Ajastin
- Uudelleenlähetys
- Nopea uudelleenlähetys

Tavunumerointi

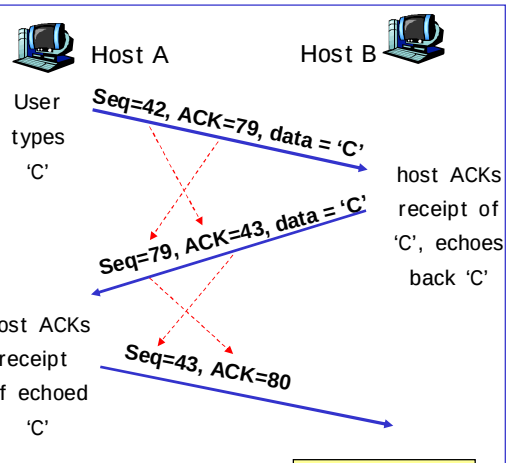
Kuittauksia ei kuitata ja ne eivät siirrä numerointia!

Niissä ei siirretä tavuvirtaa.

Tavuvirtaa …
Segmentit voivat olla erikokoisia (=< MSS)

Segmentin 'numero'=
- ensimmäisen tavun numero
- alkuarvot sovitaan yhteyttä muodostettaessa

Kuittaus
- seuraavaksi odotetun tavun numero
- kumulatiivinen
- kylkiäisenä (piggybacked) mikäli mahdollista

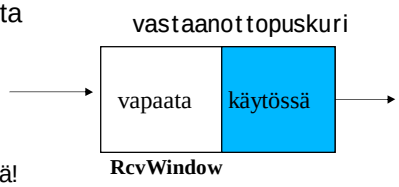


Kuro08: Fig 3.31

simple telnet scenario

Vuonvalvonta

- Jotta lähettäjä ei tukahduta vastaanottoa
  - Siirtonopeus sovitettava vastaanottavan sovelluksen mukaan
- Kuittaus on irroitettu vuonvalvonnasta
- **Liukuva ikkuna, koko vaihtelee**
  - Kuittaus siirtää ikkunaa
  - Vuonvalvonta määrää ikkunankoon
  - Kun ikkunankoko = 0, ei saa lähettää!



- Vastaanottaja kertoo, montako tavua puskureihin vielä mahtuu
  - TCP-segmentin otsakkeen kenttä **Receive window**
  - **Sovellus lukee tavut silloin kun haluaa**
  - **Koko on mukana jokaisessa TCP-segmentissä (molempiin suuntiin)**
- **Myös ruuhkanhallinta rajoittaa lähettämistä**

TCP Reno: Hidas aloitus (slow start) ja ruuhkanvälttely (congestion avoidance)

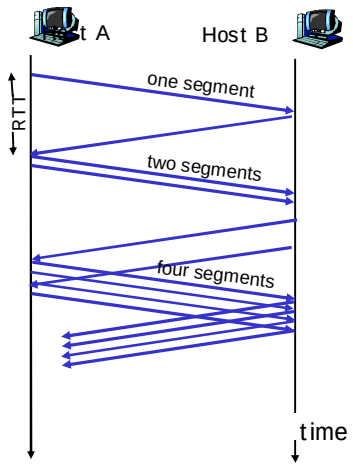
- **Aluksi ruuhkaikkuna = yksi segmentti**
  - Alussa hidas siirtonopeus= MSS/RTT
- **Kukin kuittaus kasvattaa yhdellä ruuhkaikkunan kokoa**
  - Eksponentiaalinen kasvu
  - Ikkuna kaksinkertaistuu yhden RTT:n aikana

hidas aloitus

- **Jos uudelleenlähetys, ruuhkaikkunan kooksi 1 segmentti**
  - Multiplicative decrease
- **Sen jälkeen kasvata ikkunaa yksi segmentti/RTT**
  - Lineaarinen kasvu (Additive increase)
  - Ruuhkan välttely (congestion avoidance)

ruuhkanvälttely

- Siirtonopeus = CognWin / RTT tavua/sek



TCP Reno: Tarkennus

- **Saatu 3 ACK-kaksoiskuittausta** (double ACK) (4 samaa kuittausta!)
  - Verkko pystyy välittämään dataa!
  - Ei siis (pahaa) ruuhkaa, ehkä paketissa bittivirhe tai paketti kadonnut jostain muusta syystä
- Nopea uudelleenlähetys (fast retransmit)
- **Nopea toipuminen** (fast recovery)
  - Puolita ruuhkaikkunan arvo ja kasvata sitten lineaarisesti

kynnysarvo?

- **Timeout (= uusi hidas aloitus)**
  - Verkko pahasti ruuhkautunut!
  - Pudota ikkunankoko arvoon 1

Hidas aloitus

  - Kasvata eksponentiaalisesti kynnysarvoon asti
  - Kasvata sitten lineaarisesti

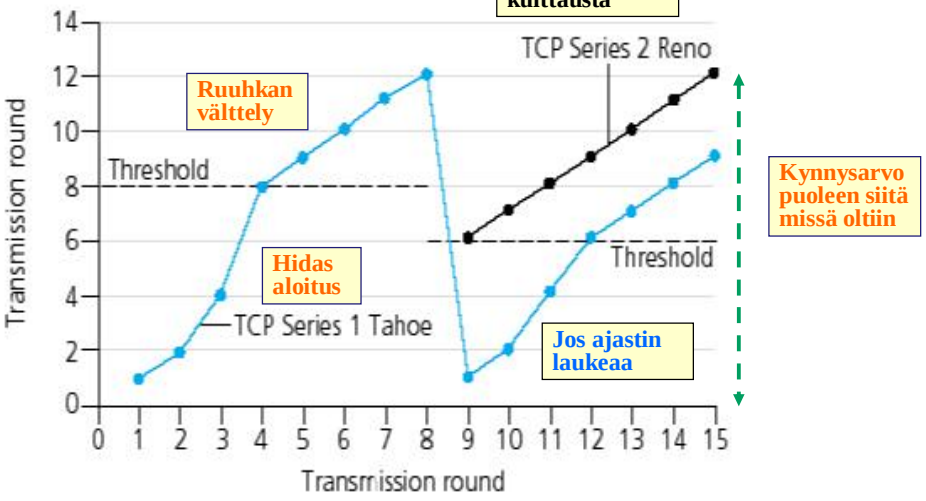
ruuhkanvälttely

Vanha TCP Tahoe pudotti aina kokoon 1.

TCP Tahoe vs. TCP Reno

Jos 3 toisto-kuittausta

KuRo08: Fig 3.53



Ajastimen arvo?

- Aseta ajastin, kun segmentti on lähetetty
- Liian lyhyt aika
  - Ennenaikainen timeout, turha uudelleenlähetys
  - Turhat ruuhkatoiminnot
- Liian pitkä aika
  - Turhan hidas reagointi segmentin katoamiseen
  - Ei huomata ruuhkaa ajoissa
- Alkujaan: *Timeoutinterval = 2*RTT*
- *Kuittausaika vaihtelee suuresti ja nopeasti =>käytössä dynaaminen arvo*
  - *Saadaan jatkuvien mittausten perusteella*
- *Jos ajastin laukeaa, tuplaa Timeout*
  - *Exponential backoff*

TCP-segmentti

Otsake aina vähintään 20 B
Optio-osa tarvittaessa

Segmentti- ja kuittaus-numerot tavunumeroina

Ikkunankoko: paljonko tilaa vastaanottopuskurissa (tavua)

ACK= kuittausnumero validi,
RST (reset),
SYN yhteydenmuodostus
FIN yhteydenpurku
URG, PSH ei yleensä käytetä

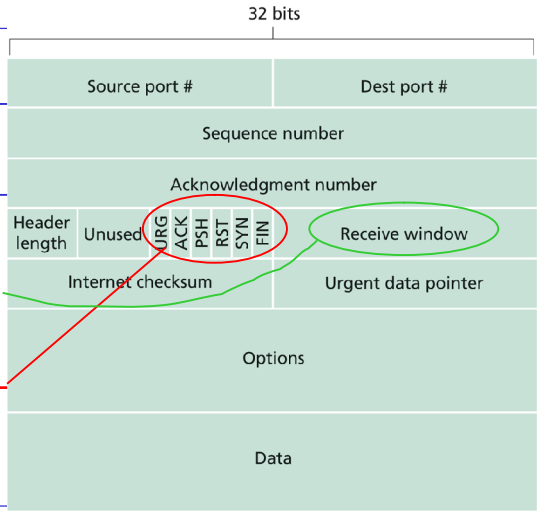
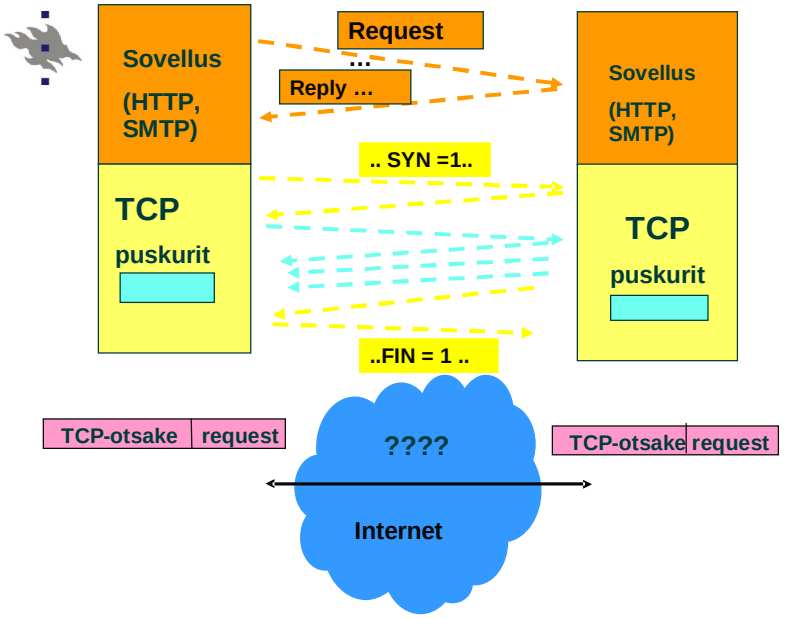
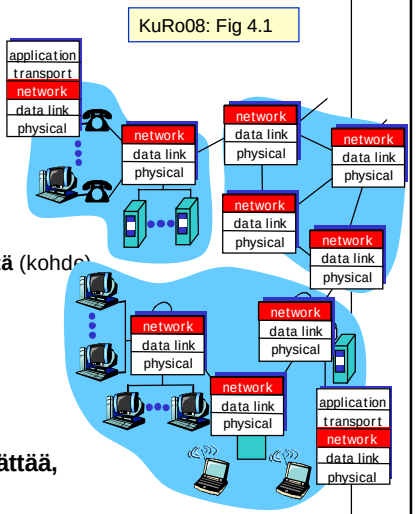


Figure 3.29 ♦ TCP segment structure

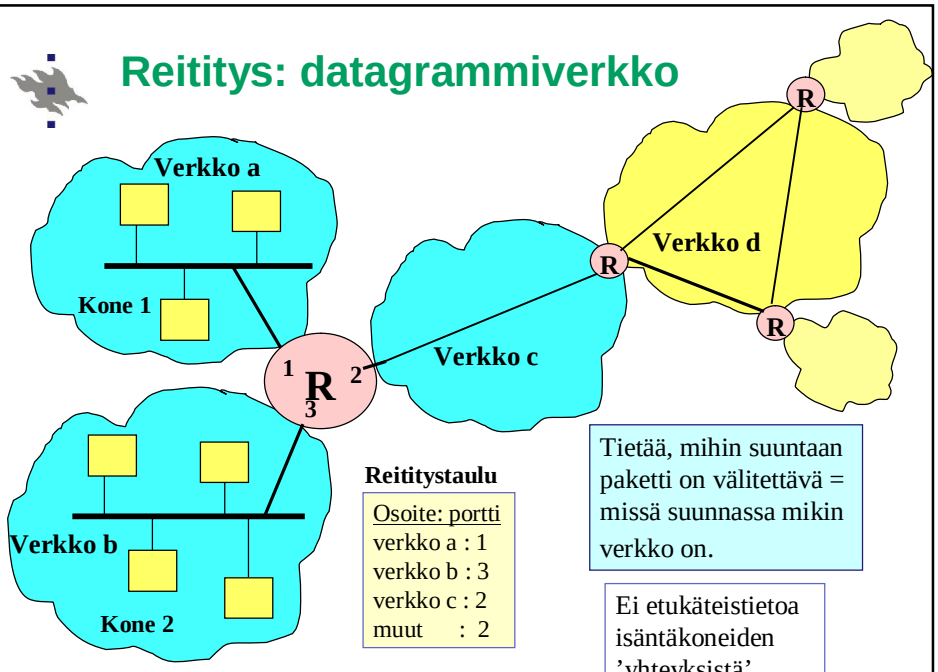


Verkkokerros

- Toimittaa kuljetuskerroksen segmentit vastaanottajalle
  - Lähetys
    - Luo segmenteistä verkkokerroksen IP-paketteja
    - Lisää otsaketietoja: mm. IP-osoitteet
  - Pakettien kulku verkossa
    - Isäntä (lähde) – reititin - ...- reititin – isäntä (kohde)
  - Vastaanotto
    - Poista otsake
    - Anna segmentti kuljetuskerrokselle
- Toimii etenkin reitityksessä
  - Reititin tutkii IP-paketin otsakkeen ja päättää, linkkiin se lähetetään seuraavaksi



Reititys: datagrammiverkko



Reititystaulu

Osoite: portti
verkko a : 1
verkko b : 3
verkko c : 2
muut : 2

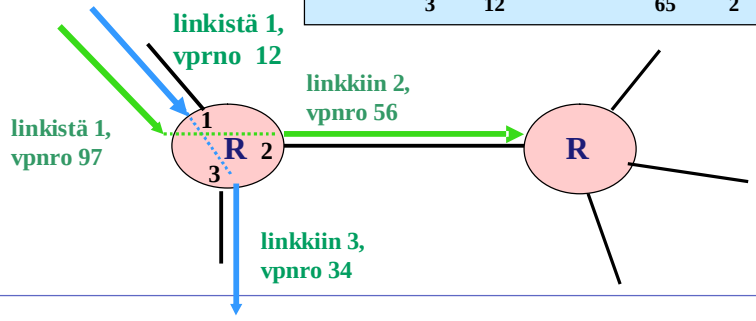
Tietää, mihin suuntaan paketti on välitettävä = missä suunnassa mikin verkko on.

Ei etukäteistietoa isäntäkoneiden 'yhteyksistä'

Reititys: Virtuaalipiiriverkko

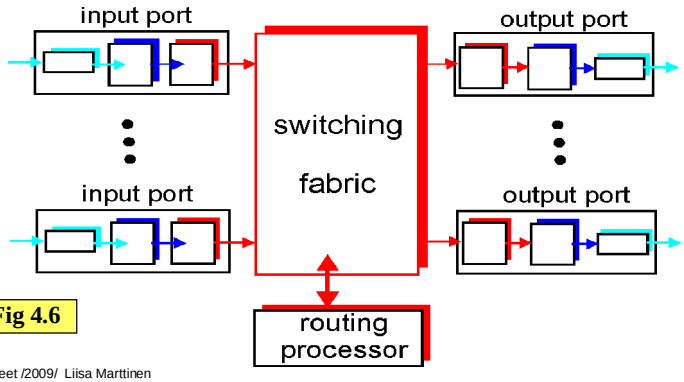
- **1. paketti muodostaa reitin, muut paketit kulkevat samaa reittiä**
  - otsakkeessa kohdeosoitteen
  - reititin ylläpitää tietoa piirinur
  - **Reititys = selvitä vpnro**

Sisään: linkki / vpnro		Ulos: vpnro / linkki	
1	12	34	3
1	97	56	2
2	42	101	3
2	10	78	1
3	12	65	2



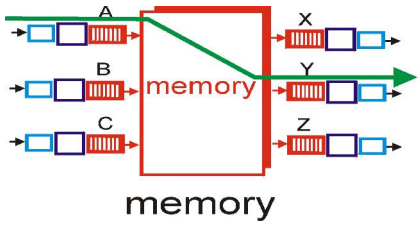
Reitittimen arkkitehtuuri

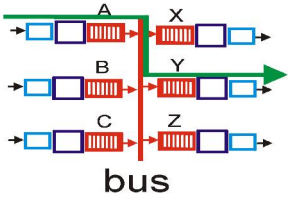
- Kaksi tehtävää
  - Välitä paketteja tulolinkeistä ulosmenolinkkeihin
  - Suorita reititysalgoritmia / -protokollaa
- Portti ~verkkokortti
  - Useita portteja niputettu yhteen linjakorteiksi (line card)

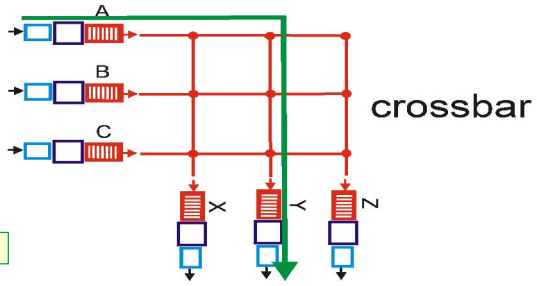


KuRo08:Fig 4.6

Kolme erilaista kytkentätapaa:



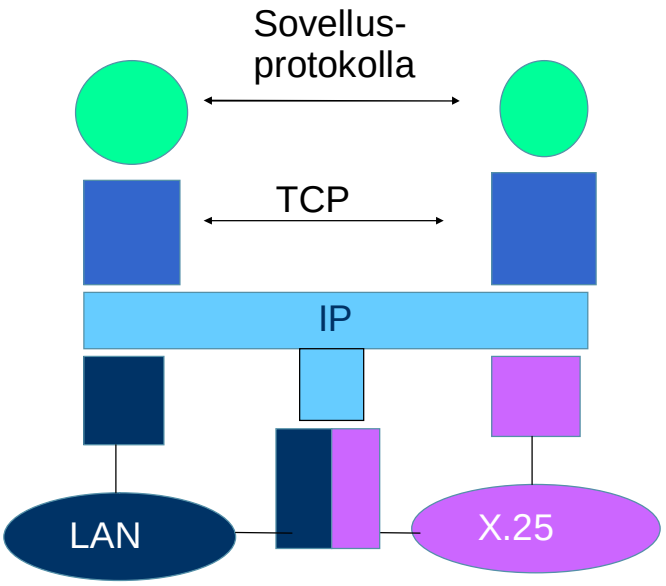




KuRo08: Fig. 4.8

Pakettien hylkäys

- Kun puskuritila ei riitä
  - Hylkää saapuva paketti (drop-tail) tai joku muu ..
  - Se kummassa jonossa paketit hylätään, riippuu kytkennän ja linjan nopeuden suhteista
  - **RED** (Random Early Detection): hylkää jo ennenkuin puskuri täyttyy
- Siirtovirhe
  - Linkkikerros saa hylätä virheellisen
  - Verkkokerros saa hylätä virheellisen **(ICMP-protokolla)**
- Paketin elinaika (Time-to-live , TTL)



IP-paketin rakenne (IPv4)

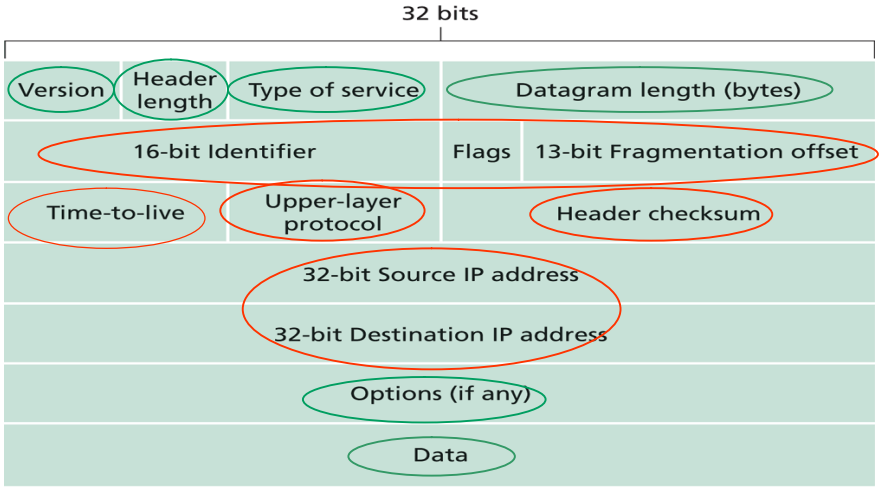


Figure 4.13 ◆ IPv4 datagram format

IP-pakettien paloittelu (fragmentointi)

Maximum transfer Unit (MTU)

suurin mahdollinen IP-paketti

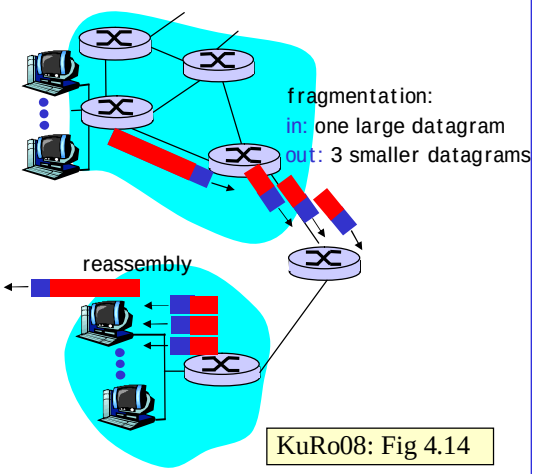
eri linkeillä eri koko

Esim. Ethernet 1500 B

Liian iso paketti pilkottava reitittimessä pienemmiksi paketeiksi (fragmenteiksi), jotka **kohdekone** kokoaa

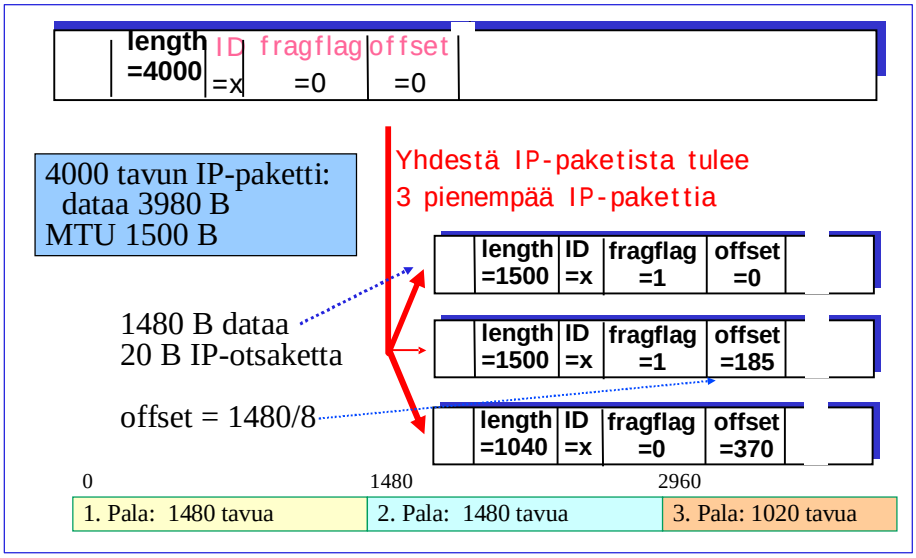
voivat kukin kulkea eri reittiä

IP-otsakkeessa kentät yhteenkuuluvien fragmenttien tunnistamiseksi



KuRo08: Fig 4.14

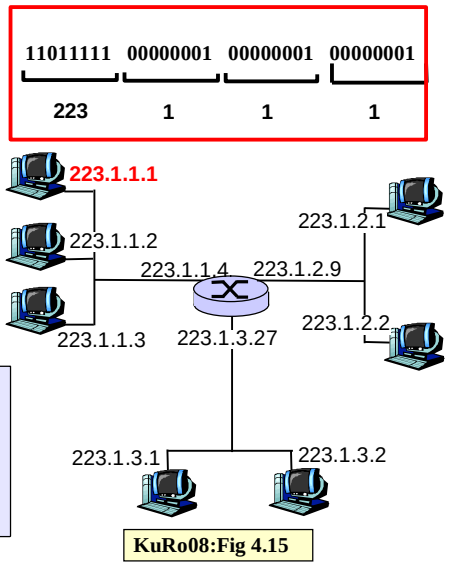
Esimerkki



IP-osoitteet

- 32 bittinen tunniste isäntäkoneille ja reitittimien linkeille
  - verkkoliittymän tunniste
- Reitittimellä useita liittymiä
  - kullakin oma IP-osoite
- Myös isäntäkone voi olla liitettynä useaan verkkoon

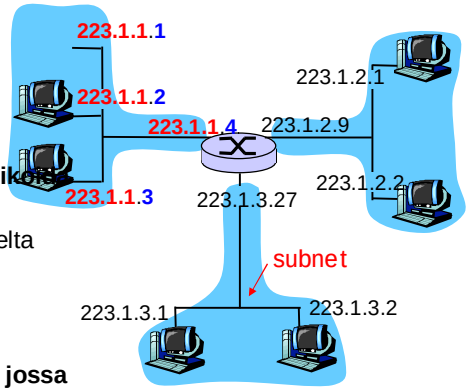
ICANN Internet Corporation for Assigned names and Numbers
verkkonumerot palvelun tarjoajille, nämä edelleen aliverkoiksi



KuRo08:Fig 4.15

Aliverkot

- **Osoitteen osat**
  - aliverkon numero (alkuosa)
  - koneen numero (loppuosa)
- **Aliverkon koneet voivat kommunikoida ilman reititystä**
  - Linkkikerros osaa lähettää koneelta toiselle
  - Esim. Ethernet
- **Aliverkkoa merkitään notaatiolla, jossa lopussa on verkko-osan pituus**
  - Esim. 223.1.1.0 /24 subnet mask
  - **eli verkko-osoite 24 bittiä ja koneosoite 8 bittiä**



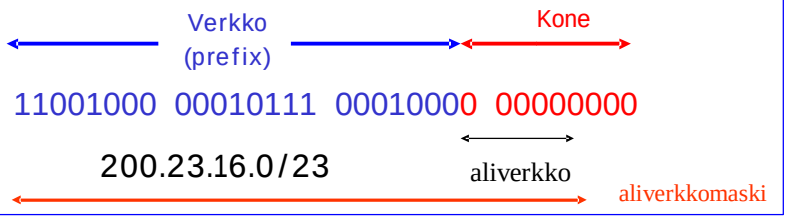
network consisting of 3 subnets

KuRo08: Fig 4.15

CIDR: Classless InterDomain Routing

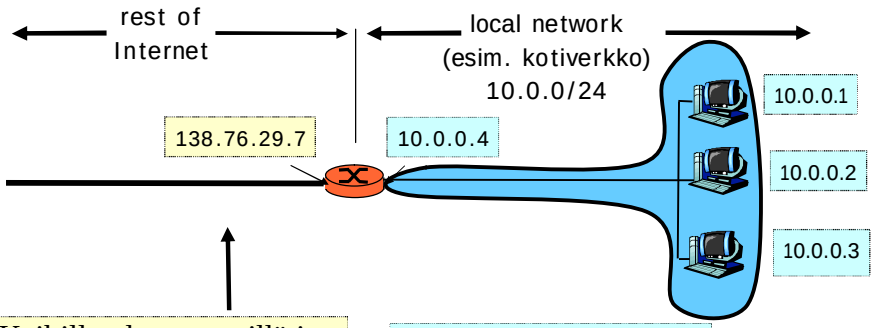
- Verkko-osa voi olla minkä tahansa kokoinen
  - Vanha luokallinen osoite: A-luokka 8 b, B-luokka 16 b,C-luokka 24 b
- Formaatti: a.b.c.d/x
  - x ilmoittaa verkko-osan bittien lukumäärän (prefix)

  Esim. Organisaatio, jolla 2000 konetta varaa 2048 = 2^11 konenumeroa, jolloin verkko-osaa varten jää 21 bittiä
  Yritys voi vielä itse jakaa viimeiset 11 bittiä aliverkko-osoitteeksi ja koneosoitteeksi. Tämä jako ei näy ulkopuolelle.



NAT: Network Address Translation

Vain ~ 4 miljardia osoitetta!



Kaikilla ulosmenevillä ja sisääntulevilla paketeilla sama IP-osoite
138.76.29.7
mutta eri porttinumeroita.

Kotiverkossa käytössä sisäiset IP-osoitteet
10.0.0/24
(esim. DHCP:llä)

1) Linkkitila: Dijkstran algoritmi

- **Aluksi kaikilla reitittimillä on tiedossa verkon rakenne ja kaikkien linkkien kustannukset**
  - Kaikki reitittimet lähettävät tietonsa naapureistaan ja linkkikustannuksista naapureihin (mitatut /havaitut) joko kaikille muille tai jollekin keskussolmulle, joka välittää tiedon muille
- **Reititin laskee Dijkstran algoritmilla edullisimman kustannuksen kaikkiin muihin kohteisiin**
  - Kokoaa näistä oman reititystaulunsa
- **Merkinnät**

C(x,y) linkin x,y kustannus; jos eivät naapureita = ∞

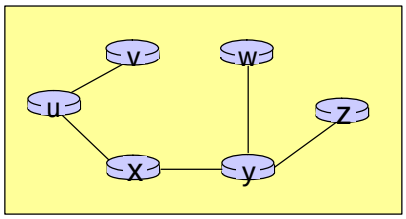
D(v) toistaiseksi edullisin kustannus solmuun v

p(v) solmun v edeltäjä reitillä

N = solmujen joukko, N' = jo käsiteltyjen solmujen joukko

Lyhyimmät reitit ja reititystaulukko

Resulting shortest-path tree from u:



KuRo08: Fig. 4.28

Resulting forwarding table in u:

destination	link
v	(u,v)
x	(u,x)
y	(u,x)
w	(u,x)
z	(u,x)

2) Etäisyysvektorireititys (distance vector)

- **Arpanet-verkon alkuperäinen reititysalgoritmi**
  - Käytössä useissa Internetin reititysprotokollissa RIP, BGP, Novell IPX, ISO IDRP
- **Interaktiivinen, hajautettu ja asykroninen**
- **Tiedot tarkentuvat asteittain, iteratiivisesti**
  - Tietyin väliajoin, linkin tilan vaihtuessa, naapurin tietojen muuttuessa, ..
- **Kukin solmu laskee itsenäisesti, mutta saa tietoa naapureiltaan**
  - Tietää / arvioi kustannuksen omiin naapureihinsa
  - Kuulee naapureiden kustannukset muihin kohdesolmuihin, jotka nämä puolestaan ovat kuulleet omilta naapureiltaan
  - Valitsee kullekin kohdesolmulle kuulemansa edullisimman reitin

$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y), c(x,z) + D_z(y)\} = \min\{2+0 , 7+1\} = 2$

$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z), c(x,z) + D_z(z)\} = \min\{2+1 , 7+0\} = 3$

node x table

from \ cost to	x	y	z
x	0	2	7
y	∞	∞	∞
z	∞	∞	∞

from \ cost to	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	7	1	0

from \ cost to	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	3	1	0

node y table

from \ cost to	x	y	z
x	∞	∞	∞
y	2	0	1
z	∞	∞	∞

from \ cost to	x	y	z
x	0	2	7
y	2	0	1
z	7	1	0

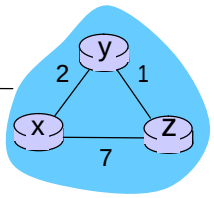
from \ cost to	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	3	1	0

node z table

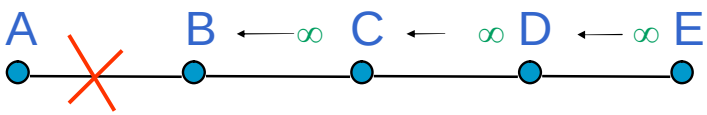
from \ cost to	x	y	z
x	∞	∞	∞
y	∞	∞	∞
z	7	1	0

from \ cost to	x	y	z
x	0	2	7
y	2	0	1
z	3	1	0

from \ cost to	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	3	1	0



Huono uutinen etenee nopeasti: "poisoned reverse"



Ratkaisu count-to-infinity-ongelmaan!

Ilmoita etäisyys äärettömäksi naapurille, jonka kautta linkki kulkee. Kerro muille oikea etäisyys.

Tieto etenee joka vaihdossa yhden linkin yli

Etäisyys A:han

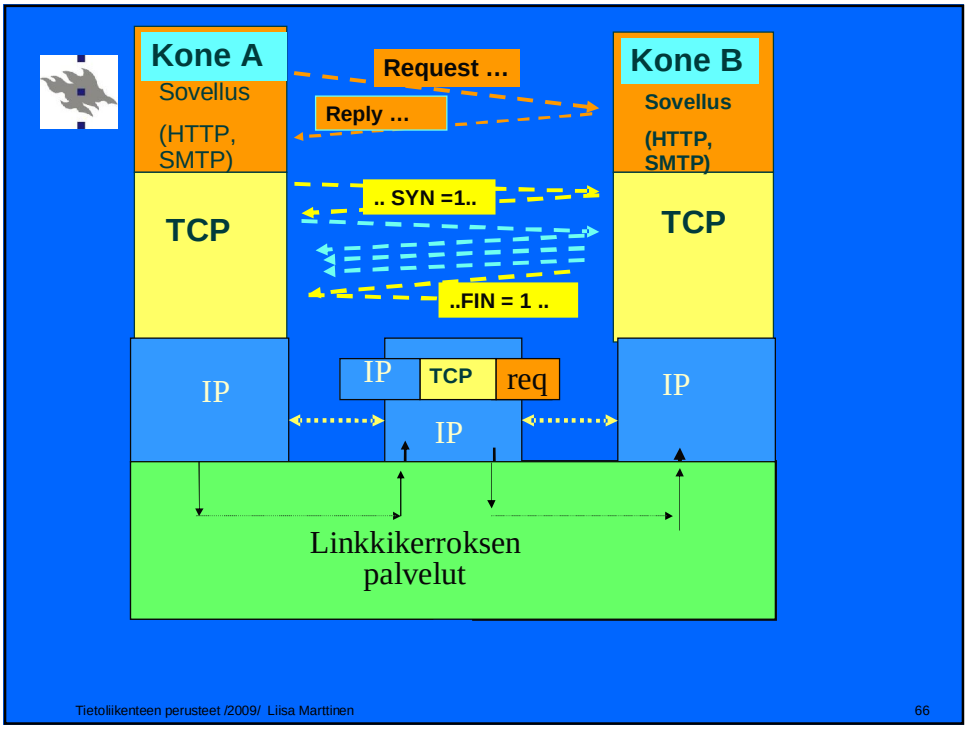
$D_B(A)$	$D_C(A)$	$D_D(A)$	$D_E(A)$
∞	2	3	4
∞	∞	3	4
∞	∞	∞	4
∞	∞	∞	∞

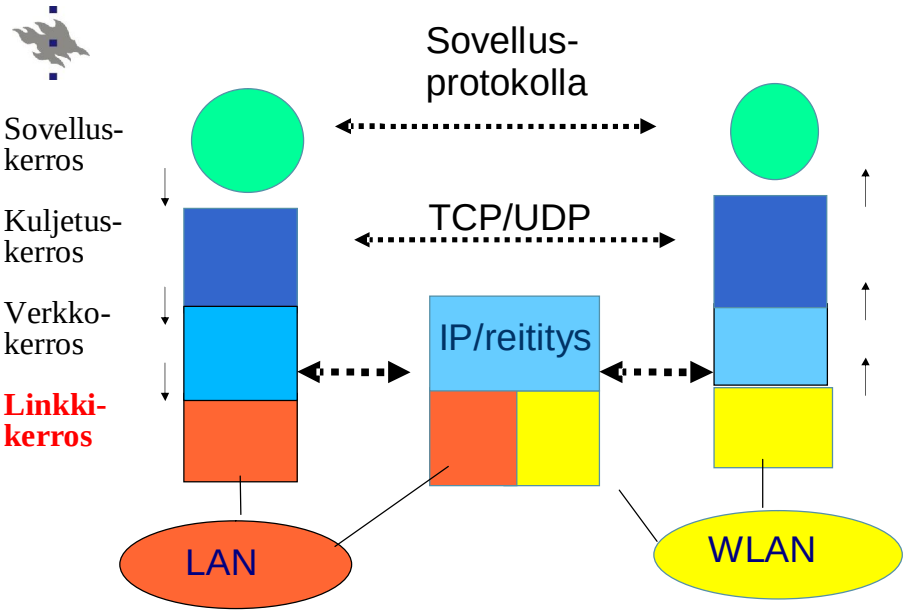
3) Hierarkkinen reititys

Jo CIDR ja IP-osoitteiden jakaminen lohkoina pienentää reititystauluja!

- Reitityksen skaalautuus?
  - Isossa verkossa runsaasti reitittimiä
    - Kaikki eivät voi tuntea kaikkia muita
    - Reititystaulut suuria, reittien laskeminen raskasta
    - Reititystietojen vaihtaminen kuluttaa linjakapasiteettiä
- Autonomiset järjestelmät AS (Autonomous Systems)
  - Internet ~ verkkojen verkko
- Intra-AS routing
  - Kukin verkko päättää itse sisäisestä reitityksestään
  - RIP, OSPF
- Inter-As routing
  - AS:t ilmoittelevat toisilleen, mihin muihin AS:iin niistä pääsee
  - BGP (Border Gateway Protocol)

netstat -r



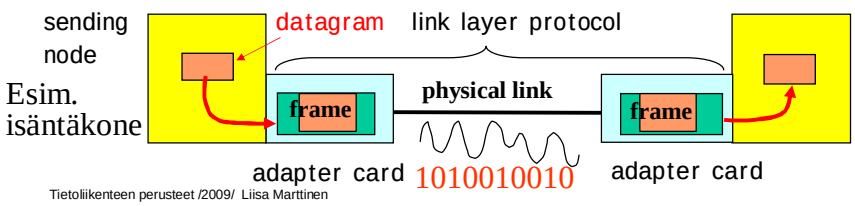


Linkkikerroksen tehtäviä (2)

NIC (Network Interface Card)
linkki- ja fyysinen kerros

- **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

Esim. reititin



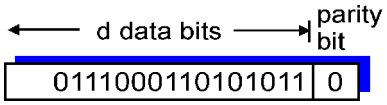
Linkkikerroksen tehtäviä

- **Kehystys** (framing)
  - 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** (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 ..

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

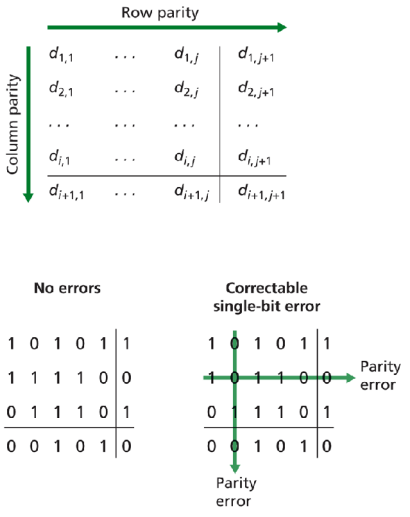


Figure 5.6 ♦ Two-dimensional even parity

CRC-esimerkki

Data: 101110

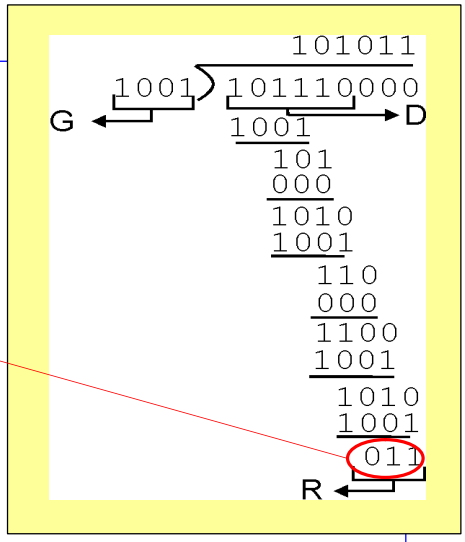
G: 1001, polynomina

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

<D,R>: 101110???

Lähetä: 101110011

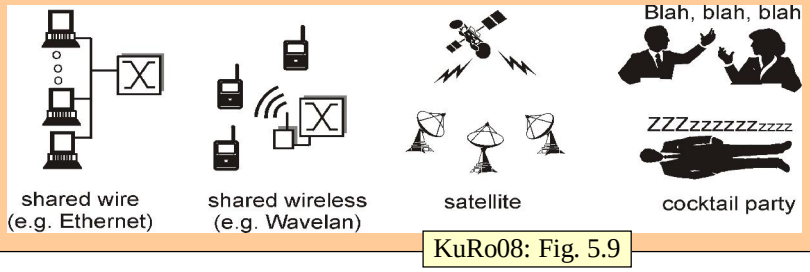
Modulo 2-aritmetiikka
vähennyslasku yhteenlaskuna
ei lainaamista, ei muistinumeroita
= bittitason XOR
1+1 =0, 1+0 = 0+1 = 1, 0+0=0



KuRo08:Fig 5.8

Yksi kanava

- **Kaksipisteyhteys** (point-to-point)
  - PPP-protokolla, puhelinyhteys (dial-up access)
  - Ethernet-piuha kytkimen ja isäntäkoneen välissä
- **Yleislähetysyhteys** (broadcast)
  - Alkuperäinen Ethernet, Ethernet keskittimen ja isäntäkoneen välissä, kaapelimodeemiyhteys (upstream), WLAN, satelliitti,



KuRo08: Fig. 5.9

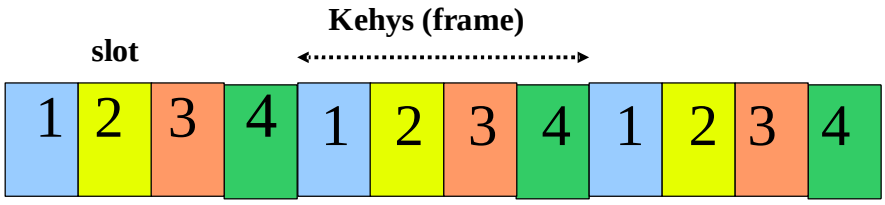
Lähetysvuorojen jakelu

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."

TDMA:

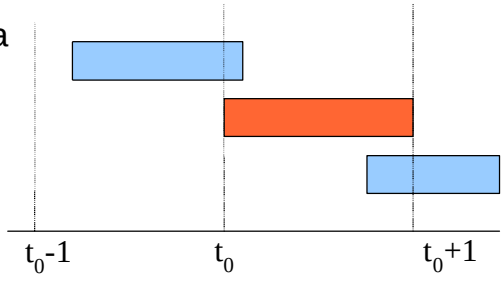


FDMA:

CDMA: Eri lähettäjillä omat keskenään ortogonaaliset sirukoodit biteille => yhteislähetyksestä kyetään erottamaan eri lähettäjät

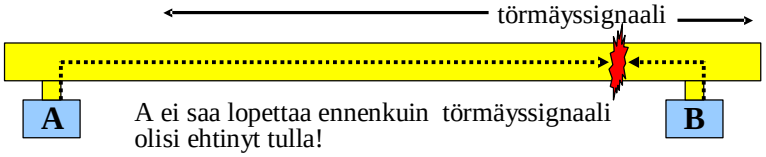
Aloha

- 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 ~ 18%



CSMA/CD (with Collision Detection)

- Asema kuuntelee myös lähettämisen jälkeen
  - Langallinen LAN: törmäys => 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



A ei saa lopettaa ennenkuin törmäyssignaali olisi ehtinyt tulla!

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

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

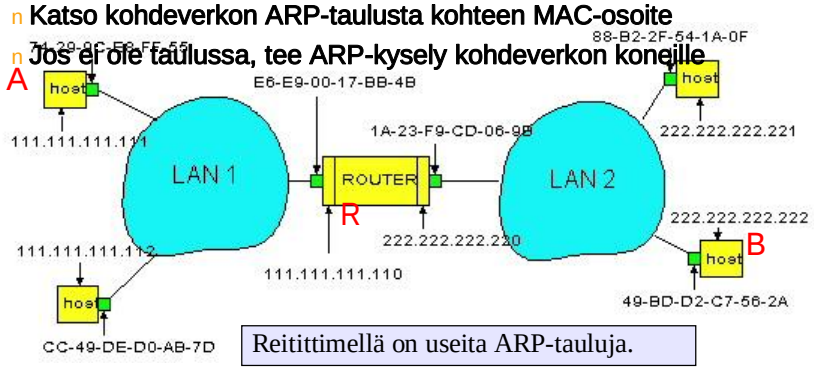
MAC-yleislähetysosoite: FF-FF-FF-FF-FF-FF

"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)

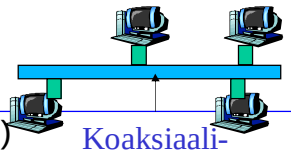
Lähettäminen toiseen verkkoon (1)

- Ensin omalle reitittimelle sen MAC-osoitteella ja reitin 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 koneille**



Reitittimellä on useita ARP-tauluja.

10BaseT ja 100BaseT



10 Mbps tai 100Mbps (Fast Ethernet, FE)
- T = Twisted Pair eli kierretty parikaapeli

Maks. etäisyys keskittimeen 100 m

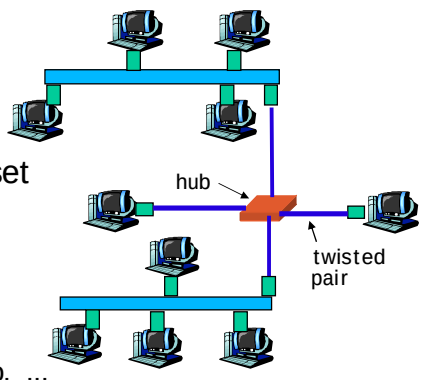
Koaksiaali-kaapeli max. 500 m

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, ...



Gigabitin Ethernet (GE)

1 Gbps tai 10 Gbps

Edelleen sama kehysformaatti

- Taaksepäin yhteensopiva

Yhteiskäyttöiset linkit edelleen OK

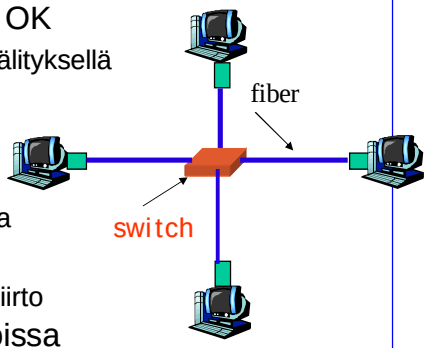
- Koneiden yhdistely keskittimen välityksellä
- CSMA/CD

Kaksipisteyhteydet

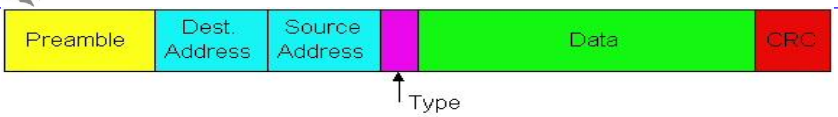
- ei törmäyksiä
- koneet yhdistetty **kytkimien** kautta
- pitkät välimatkat mahdollisia
- kaksisuuntainen täysivauhtinen siirto

Käytetään yleisesti runkoverkoissa

- verkkojen yhdistely (reititin -> reititin)
- valokaapeli, myös cat5/cat6 parikaapeli



Ethernet-kehys



Tahdistuskuvio (preample) (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 eli 32 bittiä)

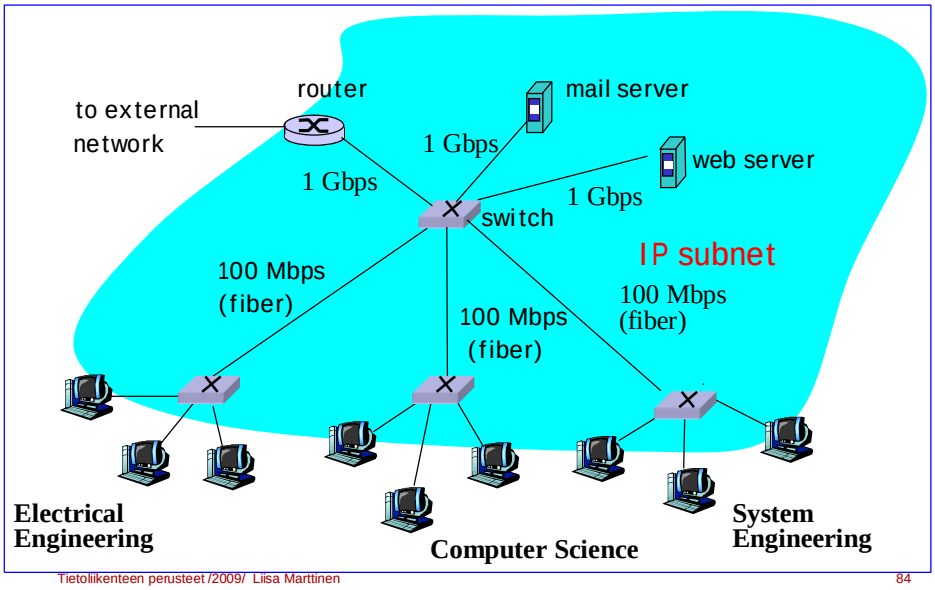
- tarkistusbitit, tahdistuskuvio mukana laskennassa

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 lähetys heti
  - Lähetä 48 bitin sotkusignaali (jam): muutkin huomaavat varmasti
- Random Access
  - Odota törmäyksen jälkeen satunnainen aika

LAN, verkkosegmentit



Takaperin oppiminen: 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**
- Lähde X on taulussa => päivitä TTL
- 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 portisssa => hylkää kehys **(on jo oikeassa aliverkossa)**
  - X ja Y eri porteissa => lähetä kehys Y:n porttiin