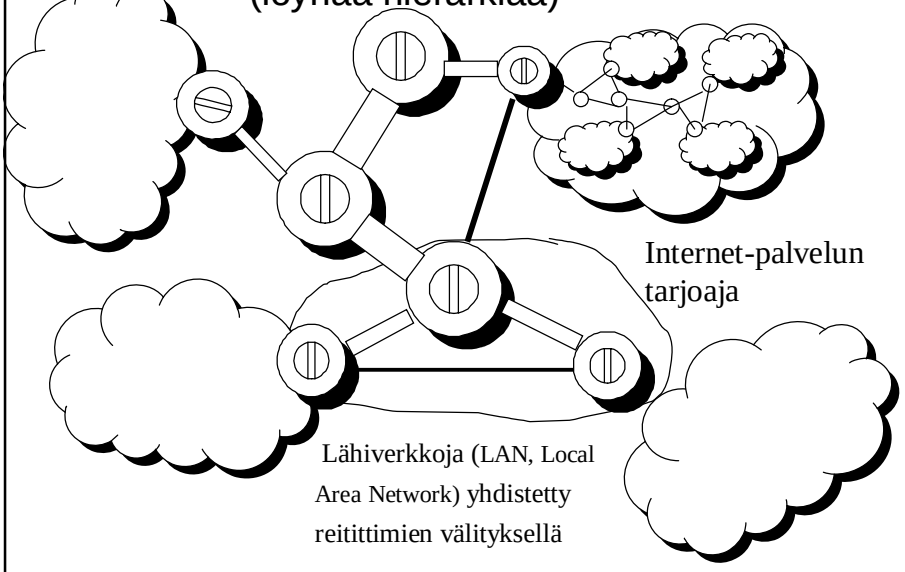
Tietoliikenteen perusteet

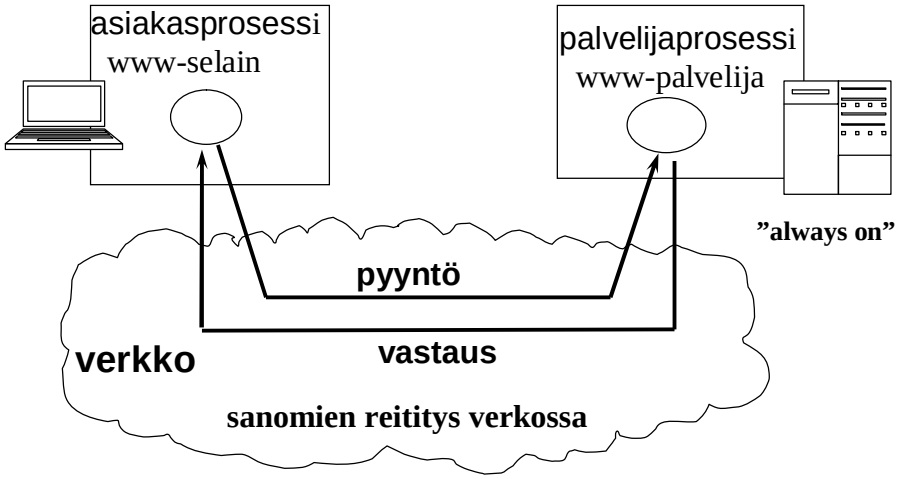
Vähän kertausta

Internet = verkkojen verkko

(löyhää hierarkiaa)



Asiakas-palvelija-malli



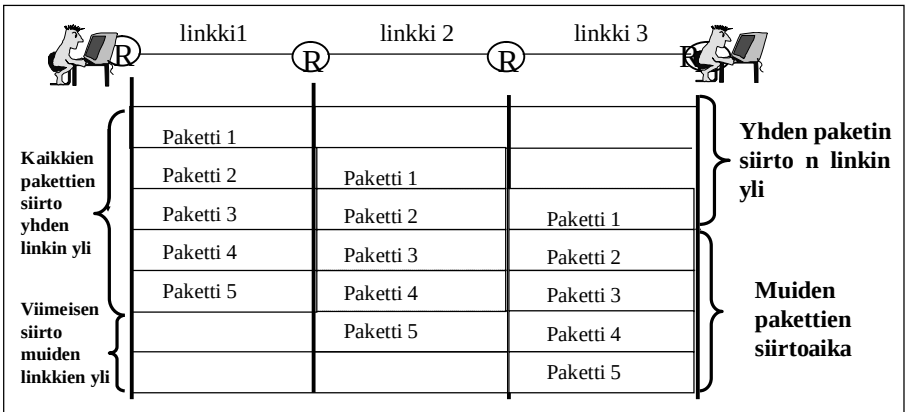
Oikea kone, oikea prosessi

Pakettivälitys siirto-aika

Olkoon siirtoaika a:

a) ka+(n-1)a = (k+n-1)a

b) na +(k-1)a = (n+k-1)a



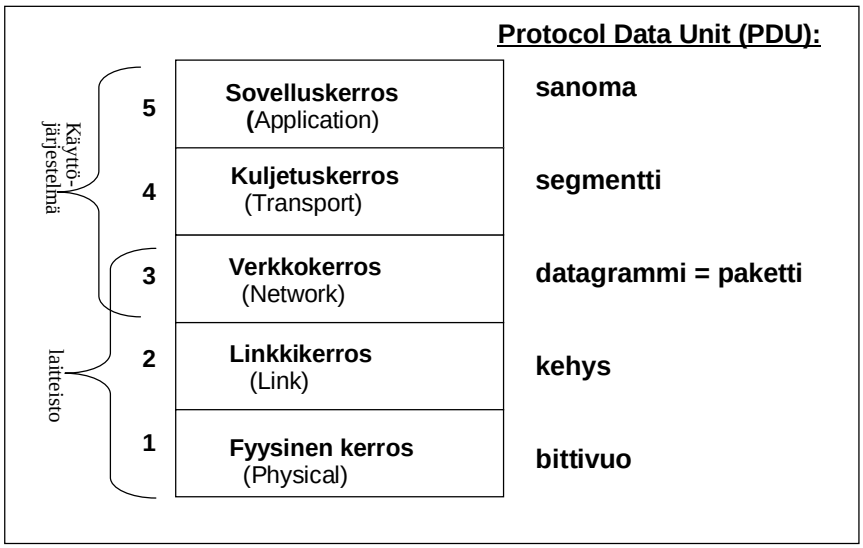
Sanoman siirtoaika, kun sanomassa on k pakettia ja linkkejä on n kappaletta

a) k:n paketin siirto 1. linkin yli + viimeisen paketin siirto n-1 linkin yli.

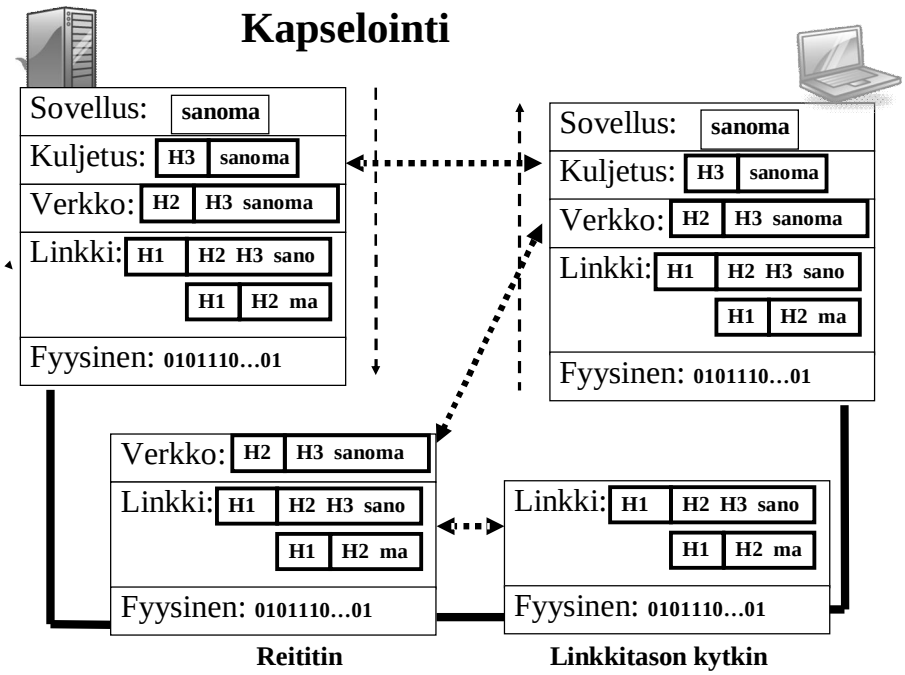
b) 1. paketin siirto n:n linkin yli + muiden k-1 paketin siirto yhden linkin li

Animaatio: http://wps.aw.com/aw_kurose_network_4/63/16303/4173750.cw/index.html

Internet-protokollapino

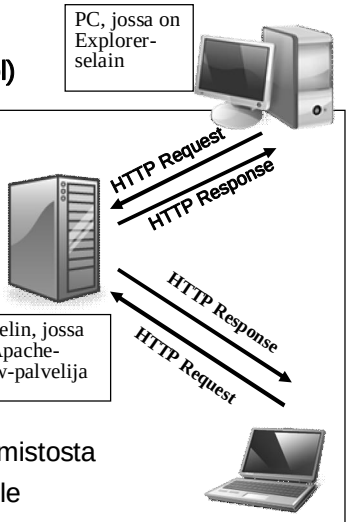


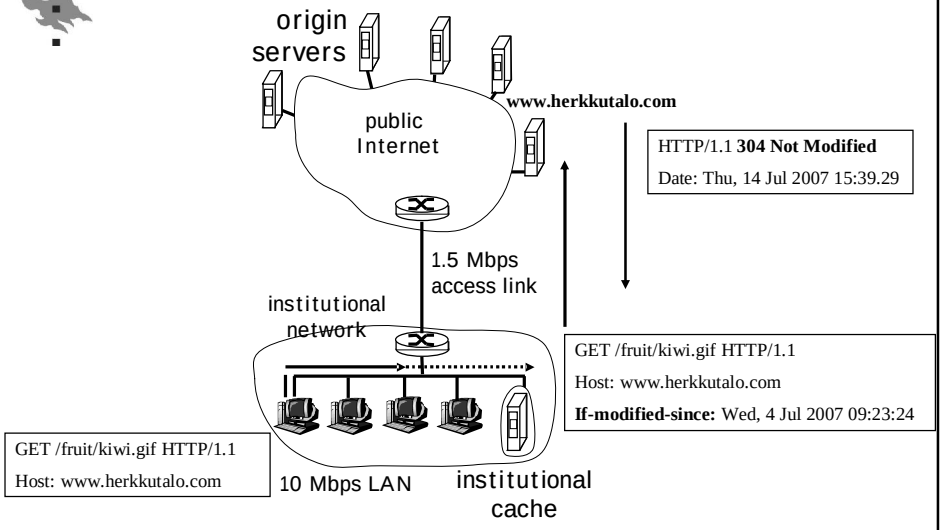
Kapselointi



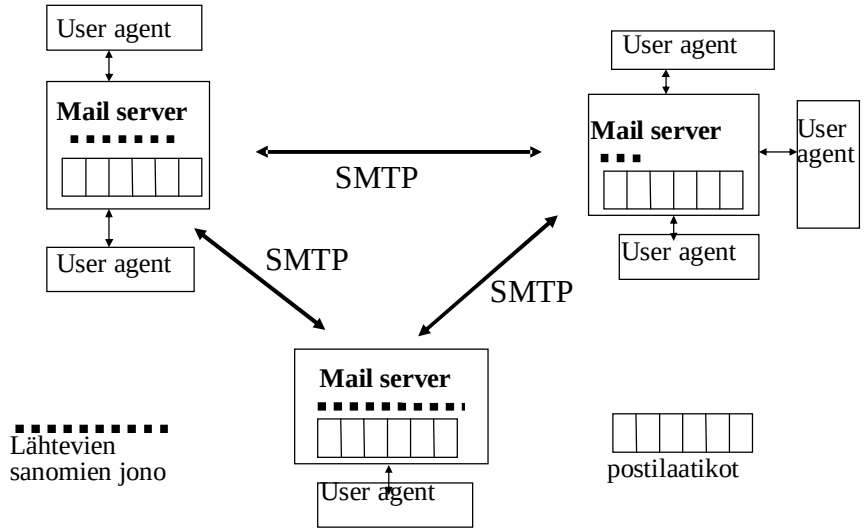
HTTP (HyperText Transfer Protocol)

- **WWW:N sovellusprotokolla**
  - **Tekstimuotoiset sanomat**
    - pyyntö – vastaus
- **Asiakas**
  - Selain: **FireFox, Internet Explorer, Opera, Apple Safari, …**
  - pyytää, noutaa ja näyttää objektit
- **Palvelija**
  - etsii objektin (tiedoston) koneen hakemistosta
  - ja lähettää sen vastauksena asiakkaalle
- **Tilaton protokolla**
  - Palvelija ei muista mitään edellisistä pyynnöistä

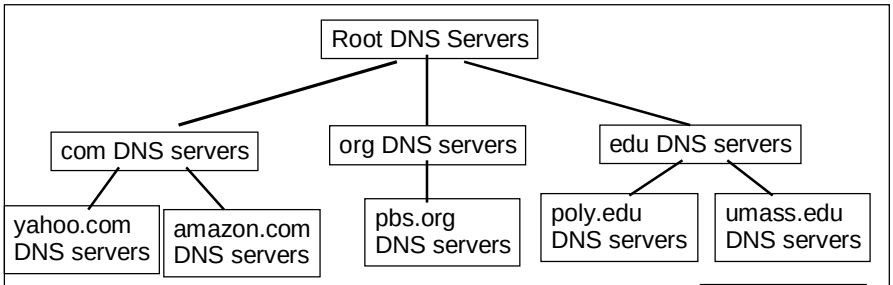




Sähköpostin komponentit



Hajautettu, hierarkinen tietokanta



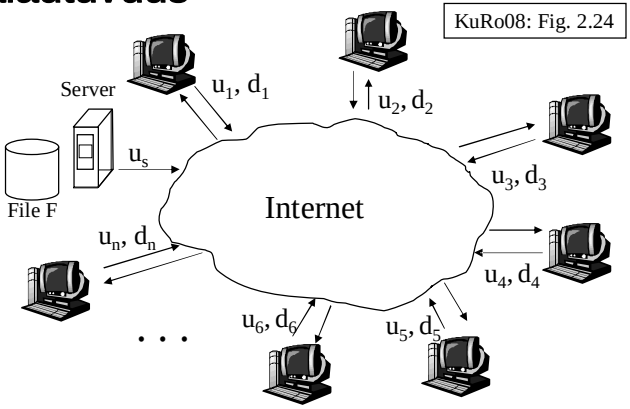
KuRo05: Fig 2.18

- **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

Skaalautuvuus

KuRo08: Fig. 2.24



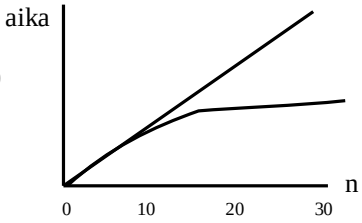
Asiakas-palvelinmalli:

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.



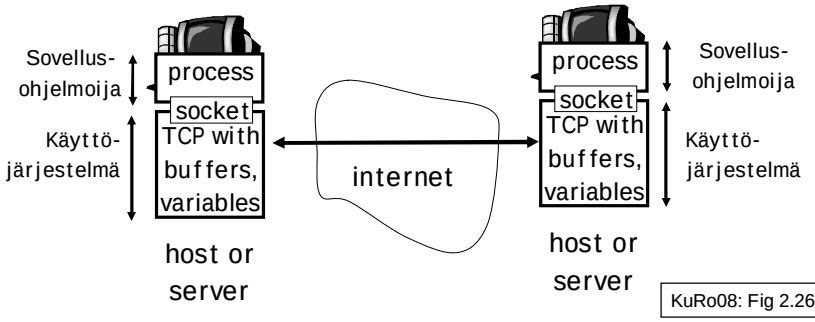
Vertaistoimijamalli (alussa tiedosto on palvelimella)

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

Summamerkki

Pistoke (socket)

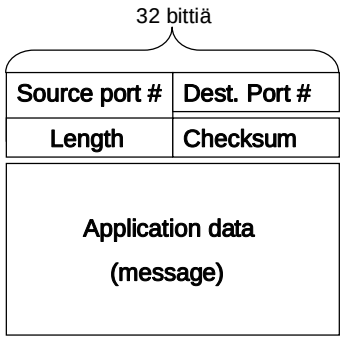
- Kuljetuspalvelun ja sitä käyttävän sovelluksen rajapinta isäntäkoneessa
  - Sovelluksen tietoliikenne = KJ:n palvelupyyntöjä
  - Pistoke on "palveluluukku"
- **Alunperin Berkeley UNIXin (BSD) mukana**



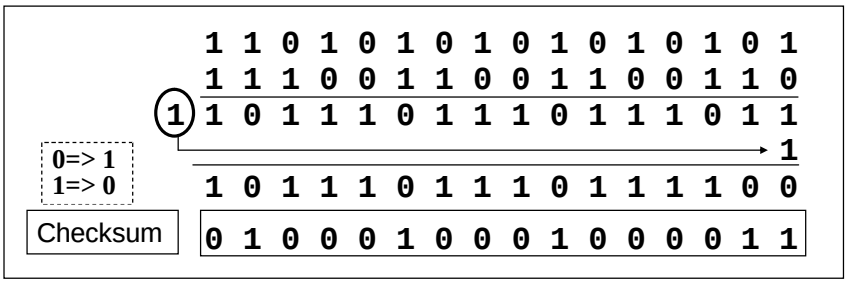
KuRo08: Fig 2.26

UDP: Tarkistussumma

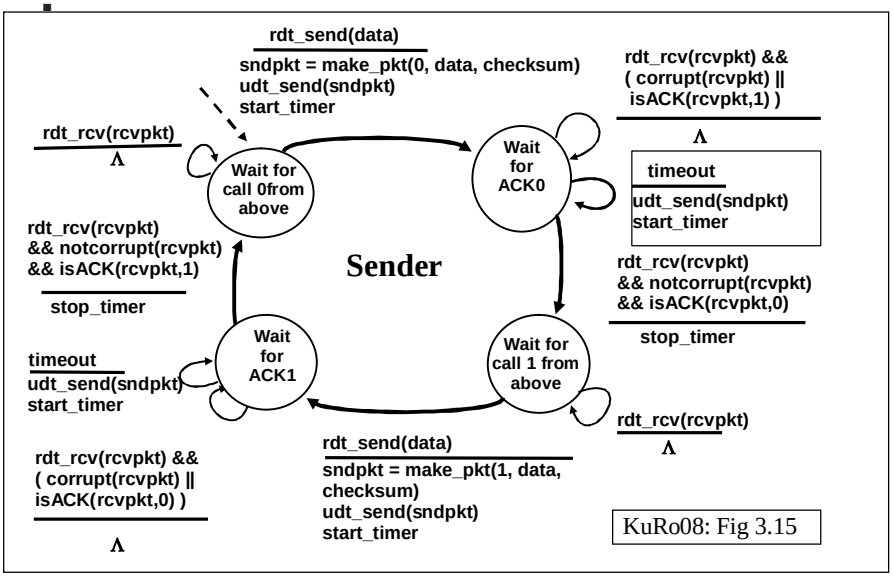
- Lähetys
  - Summaa 16 bitin kokonaisuudet (otsake + pseudo-otsake mukana), ylivuotobitit lasketaan mukaan, talleta yhden komplementtina
- Vastaanotto
  - Summaa 16 b kokonaisuudet (myös tarkistussumma).
  - Jos tuloksena on 16 ykköstä, niin OK!



UDP-otsake

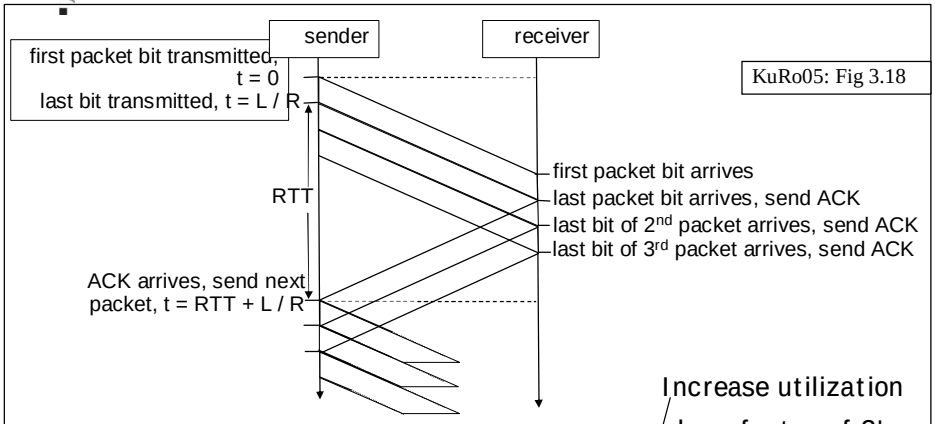


rdt3.0



KuRo08: Fig 3.15

Liukuhihnoitus: käyttöasteen kasvattaminen

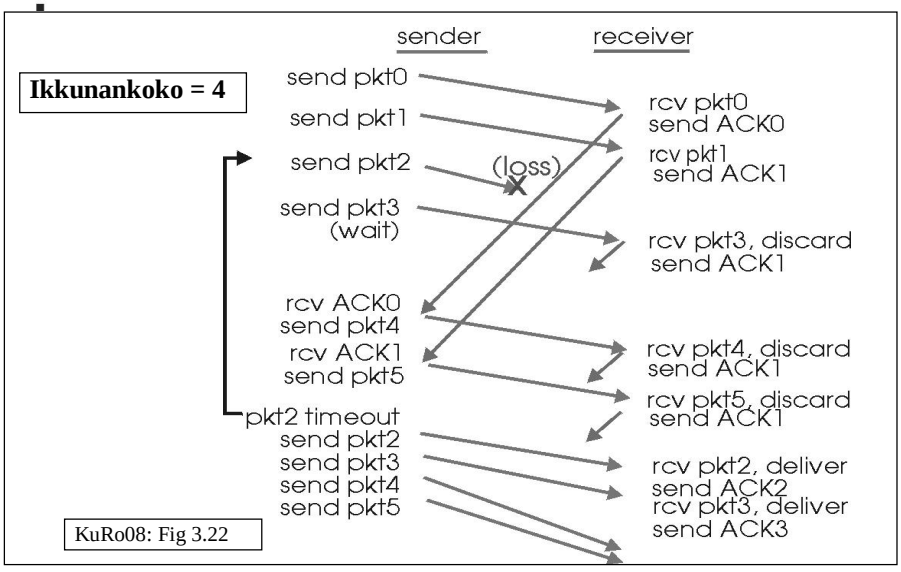


KuRo05: Fig 3.18

Increase utilization by a factor of 3!

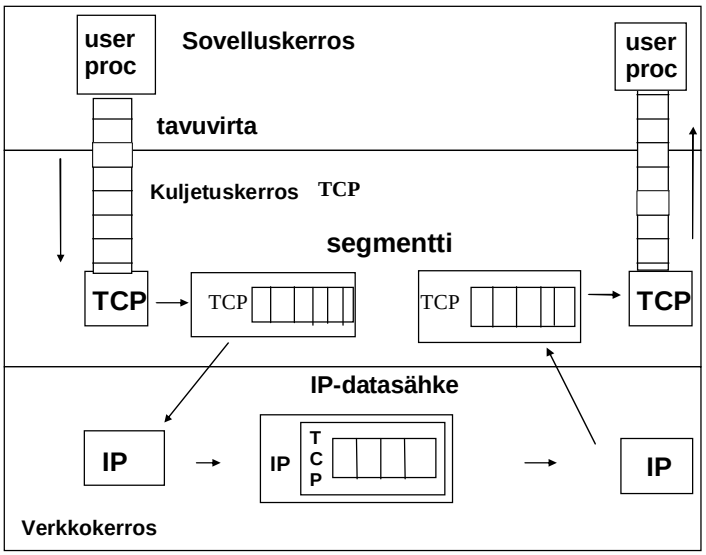
$$U_{sender} = \frac{3 * L / R}{RTT + L / R} = \frac{.024}{30.008} = 0.0008$$

Go-Back-N: Esimerkki



KuRo08: Fig 3.22

TCP: prosessilta prosessille -tavuvirta



Yhteyden muodostus

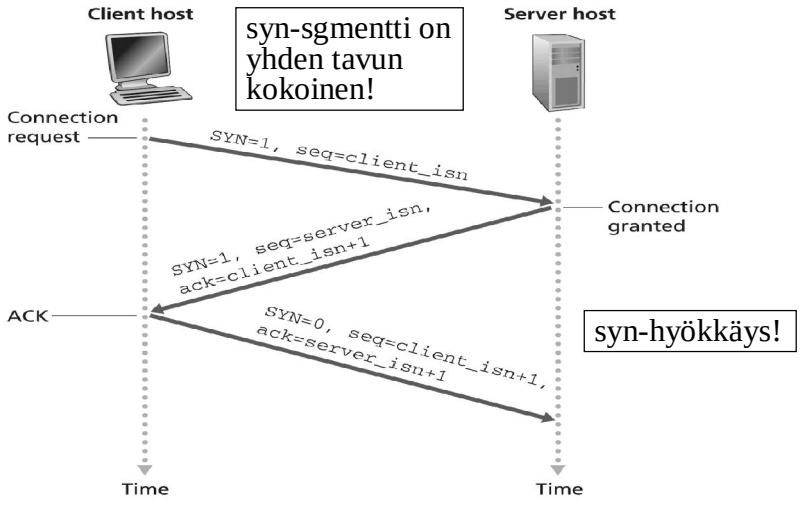


Figure 3.39 ♦ TCP three-way handshake: segment exchange

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

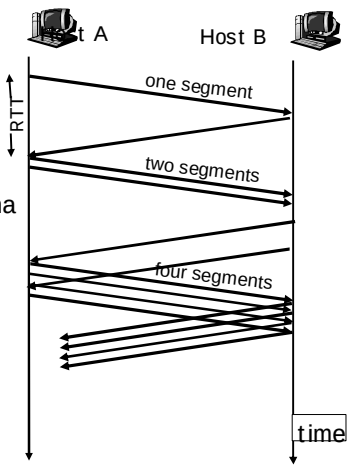
- **Aluksi ruuhkaikkuna = yksi segmentti**
  - Alussa hidas siirtonopeus= MSS/RTT
- **Kukin kuittaus kasvattaa yhdellä ruuhkaikkunan kokoa**
  - Eksponentiaalinen kasvu
  - Ikkuna kaksinkertaistuu yhden RTT:n aikana

hidas aloitus

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

ruuhkanvälttely

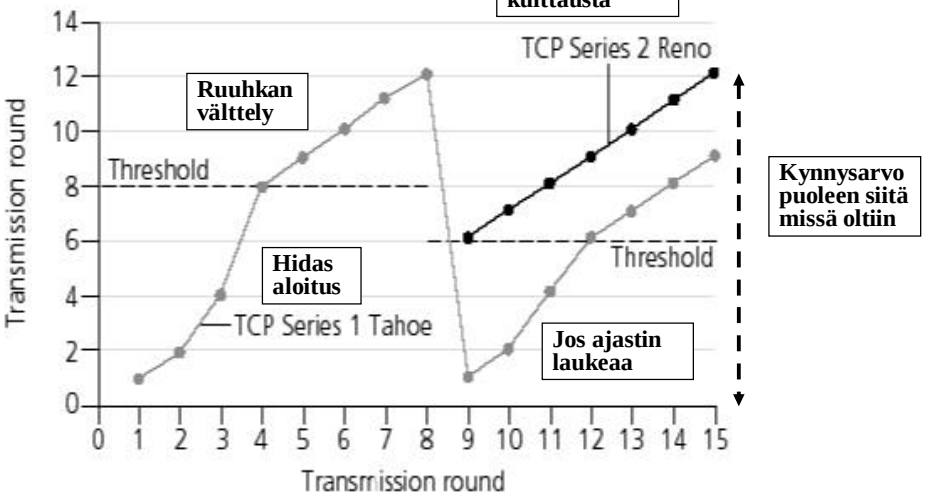
- Siirtonopeus = CognWin / RTT tavua/sek



TCP Tahoe vs. TCP Reno

Jos 3 toisto-kuittausta

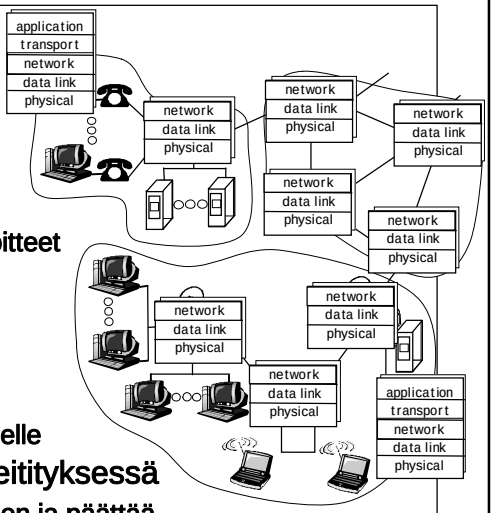
KuRo08: Fig 3.53



Kynnysarvo puoleen siitä missä oltiin

Verkkokerros

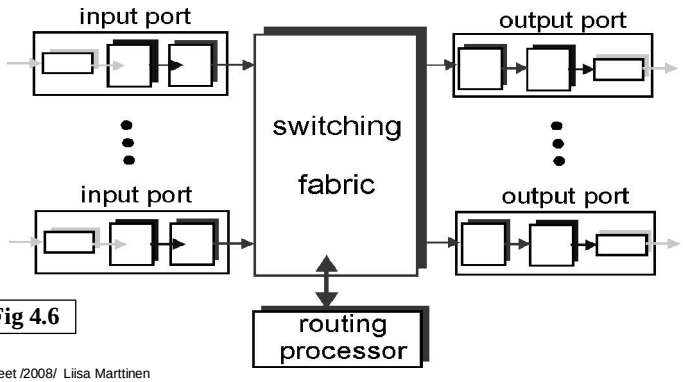
- Toimittaa kuljetuskerroksen segmentit vastaanottajalle
- Lähettäjä
  - luo segmenteistä verkkokerroksen IP-paketteja
  - Lisää otsaketietoja: mm. IP-osoitteet
- Reitittäminen
  - Isäntä – reititin ... reititin – isäntä
- Vastaanotto
  - Poista otsake
  - Anna segmentti kuljetuskerrokselle
- Verkkokerros toimii etenkin reitityksessä
  - Reititin tutkii IP-paketin otsakkeen ja päättää, mihin linkkiin se lähetetään seuraavaksi



KuRo08: Fig 4.1

Reitittimen arkkitehtuuri

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



KuRo08:Fig 4.6

IP-paketin rakenne (IPv4)

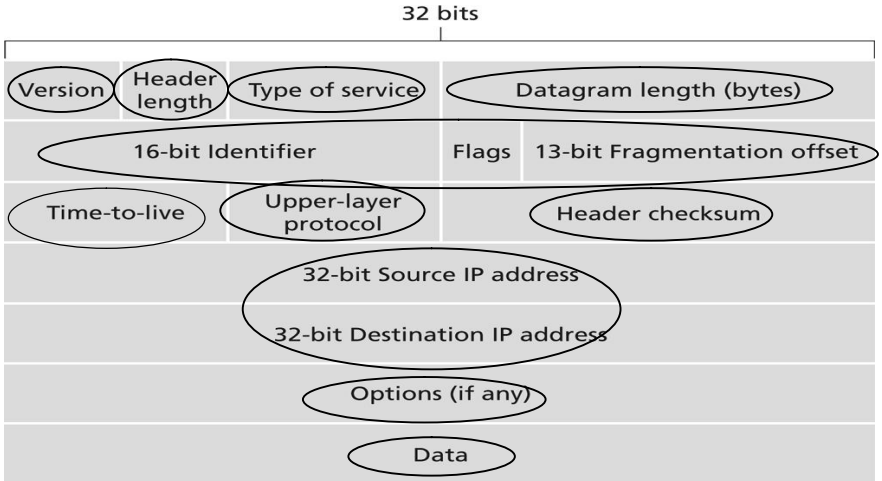


Figure 4.13 ◆ IPv4 datagram format

IP-pakettien paloittelu (fragmentointi)

Maximum transfer Unit (MTU)

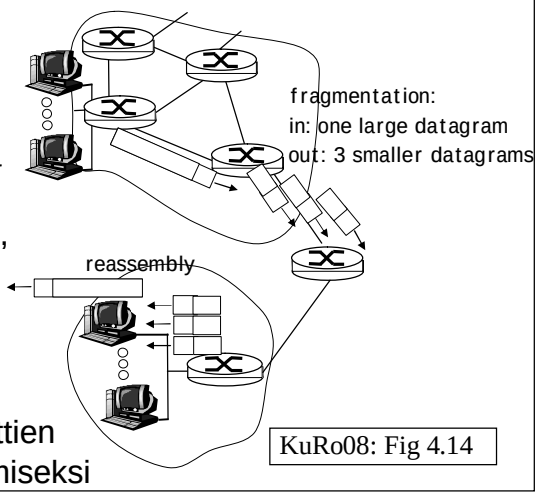
suurin mahdollinen IP-paketti eri linkeillä eri koko

Esim. Ethernet 1500 B

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

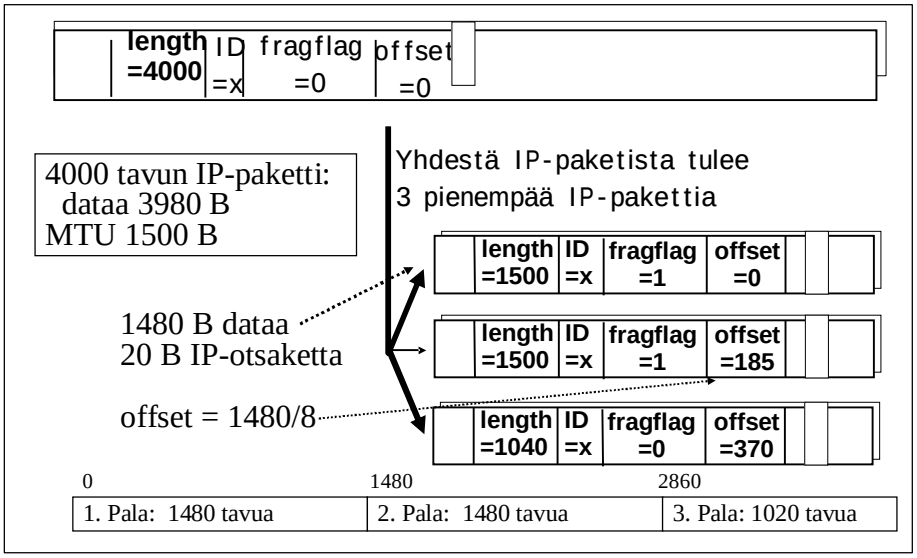
voivat kukin kulkea eri reittiä

IP-otsakkeessa kentät yhteenkuuluvien fragmenttien tunnistamiseksi ja kokoamiseksi



KuRo08: Fig 4.14

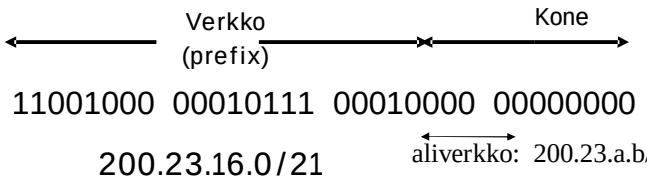
Esimerkki



CIDR: Classless InterDomain Routing

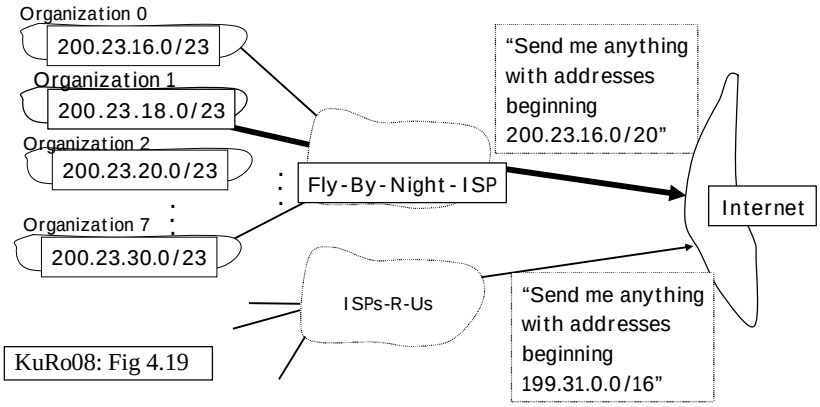
- Verkko-osa voi olla minkä tahansa kokoinen
  - Vanha luokallinen osoite: A-luokka 8 b, B-luokka 16 b,C-luokka 24 b
- Formaatti: a.b.c.d/x
  - x ilmoittaa verkko-osan bittienlukumäärän (prefix)

  Esim. Organisaatio, jolla 2000 konetta varaa 2024 = 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.



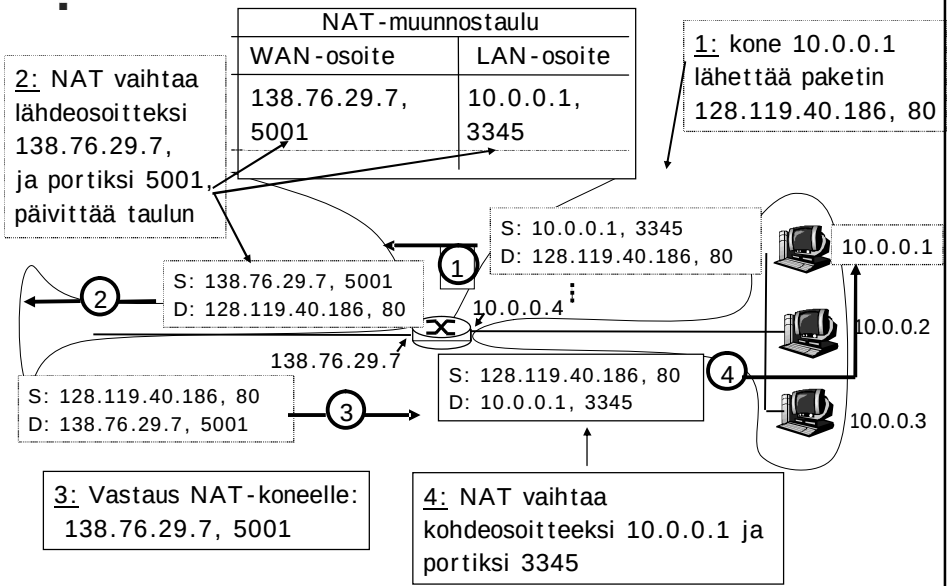
Hierarkkinen osoite

- CIDR luo reititystä helpottavan hierarkian
  - Aggregointi (yhdistäminen): yhteinen alkuosa => samaan suuntaan



KuRo08: Fig 4.19

NAT: Esimerkki

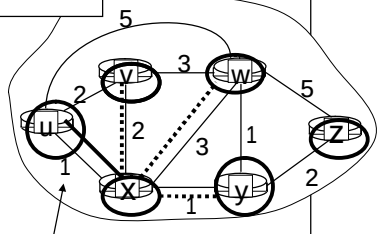


Reititysalgoritmi

- **Etsii edullisimmat reitit lähdekoneelta kohdekoneille**
  - **Käytetään reititystaulun muodostamiseen**
    - Mille linkille paketti seuraavaksi siirretään tältä reitittimeltä
- **Reititysalgoritmi, joka tarvitsee täydellisen tiedon verkosta**
  - Ennen laskentaa käytössä koko kuva verkosta:
    - Kaikki linkkiyhteydet solmujen välillä ja niiden kustannukset
      - Käytännössä vain tietystä autonomisesta alueesta
  - Parhaat reitit lasketaan joko keskitetysti tai hajautetusti
  - **Linkkitila-algoritmi** (link-state algorithm)
- **Reititysalgoritmi, jolle riittää epätäydellinen kuva verkosta**
  - Aluksi reititin tietää vain niistä koneista, joihin itse on yhdistetty
  - Iteratiivinen algoritmi: reititin vaihtaa tietoja naapuriensa kanssa ja saa tietoa muusta verkosta
  - **Etäisyysvektorialgoritmi** (distance vector algorithm)

Dijkstran algoritmi

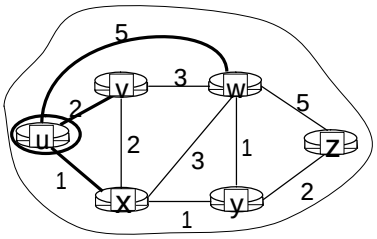
D(v)=2, D(w) = 5, **D(x)=1**
D(y) = ∞ , D(z)= ∞




```
1  Initialization:
2   N' = {u}
3   for all nodes v
4     if v adjacent to u
5        then D(v) = c(u,v)
6     else D(v) = ∞
7
8  Loop
9    find w not in N' such that D(w) is a minimum
10   add w to N'
11   update D(v) for all v adjacent to w and not in N' :
12      D(v) = min( D(v), D(w) + c(w,v) )
13   /* new cost to v is either old cost to v or known
14    shortest path cost to w plus cost from w to v */
15 until all nodes in N'
```

Etäisyysvektorireititys:

Esimerkki 1



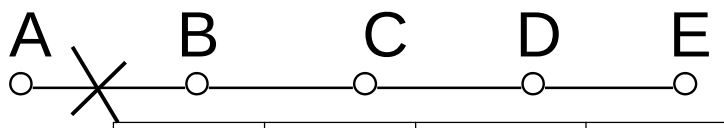
Kohde	kust.	linkki
Z	**4**	**X:ään**

Jos on jo saatu selville (= naapurit kertoneet), että $D_v(z) = 5$, $D_x(z) = 3$, $D_w(z) = 3$

$$D_u(z) = \min \{ c(u,v) + d_v(z),$$
$$c(u,x) + d_x(z),$$
$$c(u,w) + d_w(z) \}$$
$$= \min \{2 + 5,$$
$$1 + 3,$$
$$5 + 3\} = 4$$

Kun paketti on matkalla solmusta u solmuun z, se tulee seuraavaksi lähettää solmuun x, joka tuotti tuon minimin => talleta tieto omaan etäisyysvektoriin (= reititystauluun)

Huono uutinen etenee hitaasti!



Linkki AB katkeaa => etäisyys äärettömäksi

Joka vaihdossa 'paras arvio' huononee vain yhdellä = reitityssilmukka

Count-to-infinity -ongelma

$D_B(A)$	$D_C(A)$	$D_D(A)$	$D_E(A)$
ääretön	2	3	4
3	2	3	4
3	4	3	4
5	4	5	4
5	6	5	6
7	6	7	6
7	8	7	8
jne			

Etäisyys A:han

Linkkikerros

- Laitetoimintoa
- Siirtää paketin fyysistä 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 kytkimillä
  - Käytetään fyysisiä osoitteita
  - 'reititystä' ilman IP-osoitteita

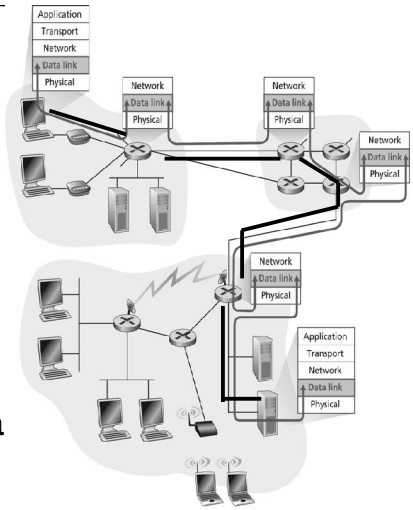
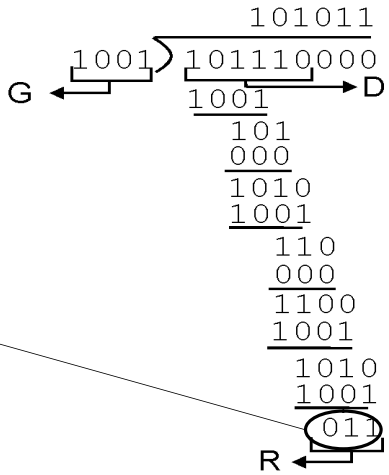


Figure 5.1 ♦ The link layer

CRC-esimerkki

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

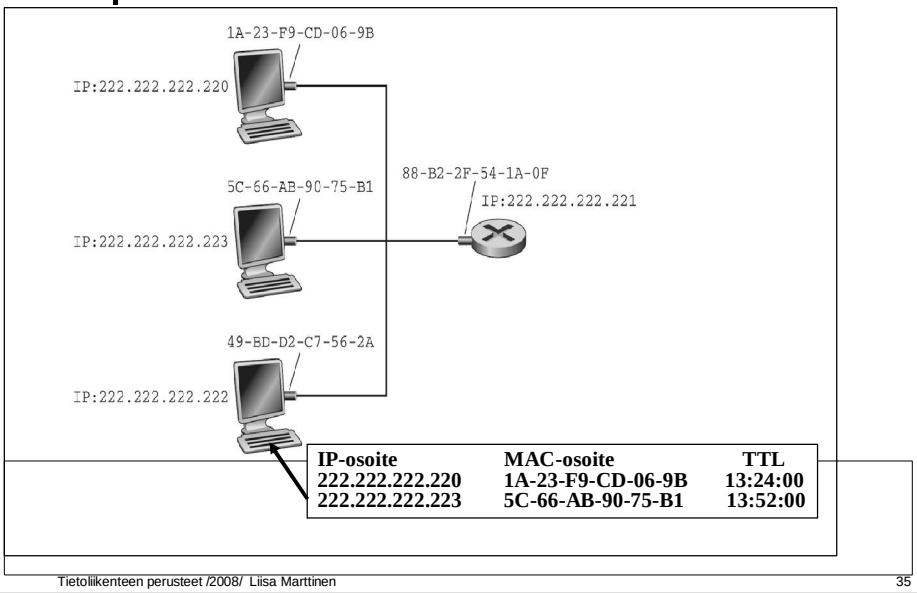
Lähetä: 101110011



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

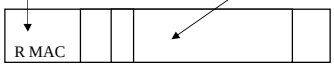
KuRo08:Fig 5.8

MAC-osoitteet ja ARP-taulu, ARP-protokolla

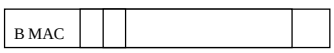


Lähettäminen toiseen verkkoon (2)

- **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 siirtokehyksen.

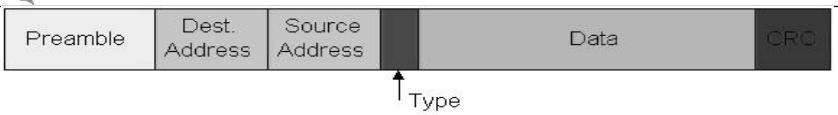


- **Reititin R**
  - Verkkokortti ottaa siirtokehyksen vastaan.
  - Ota IP-paketti kehyksestä ja tutki otsakkeesta kohteen IP-osoite (B)
  - Katso reititystaulusta, mihin verkkoon seuraavaksi (mille reitittimelle)
  - Koska omassa verkossa, etsi kohdeverkon ARP-taulusta kohteen MAC-osoite



  - Muodosta siirtokehys, osoitteena B:n MAC-osoite (data = IP-paketti)
- **Vastaanottaja B**
  - Verkkokortti ottaa kehyksen vastaan; ohjaa IP-paketin verkkokerrokselle.

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)

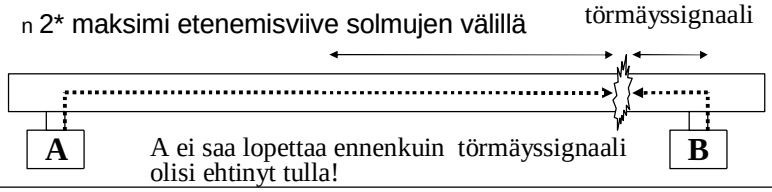
- Ethernet MTU = 1500 B

CRC (4 B)

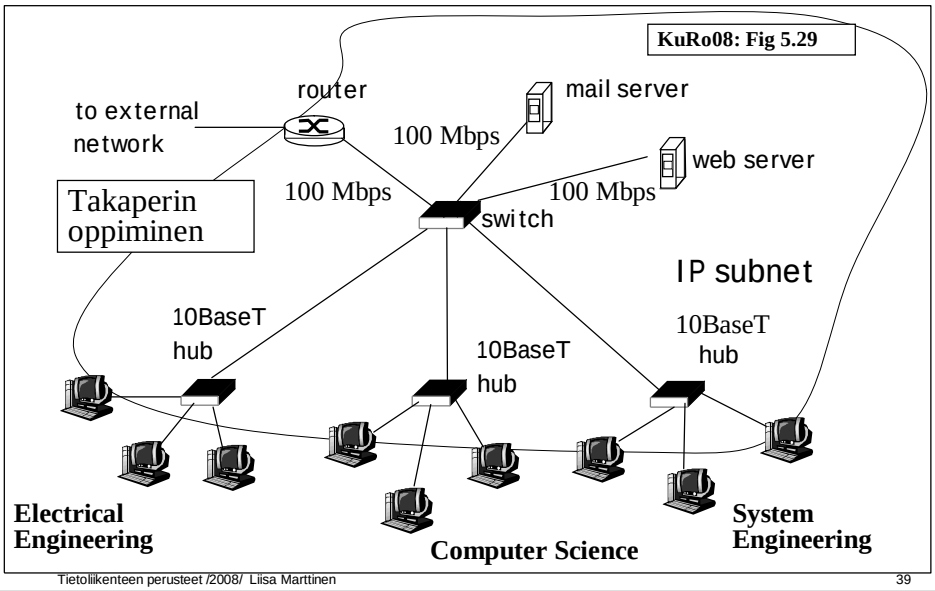
- tarkistusbitit, tahdistuskuvio mukana laskennassa

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



LAN, verkkosegmentit



802.11: CSMA/CA

KuRo08: Fig 6.10

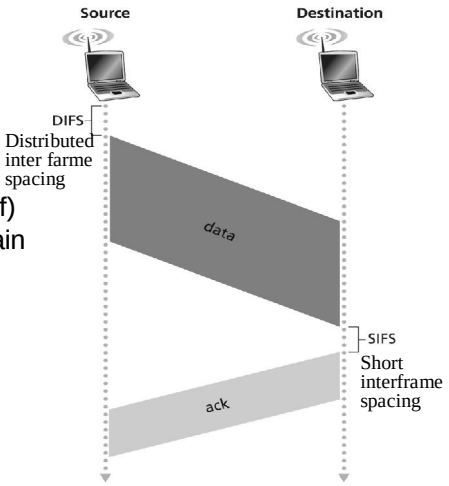


Figure 6.8 ♦ 802.11 uses link-layer acknowledgme

Lähetys

1. **Jos kanava vapaa**
   - Kuuntele DIFS aikayksikköä
   - Lähetä kehys kokonaan
2. **Jos kanava varattu**
   - Käynnistä peruutuslaskuri (backoff) random(max), jota vähennetään vain kun kanava on vapaa,
   - Lähetä, kun laskuri nollassa
   - Jos ei tule kuittausta, niin yritä uudestaan max = 2*max

Vastaanotto

Jos kehys OK

- Odota SIFS aikayksikköä
- **Lähetä ACK** (linkkikerroksen ACK)

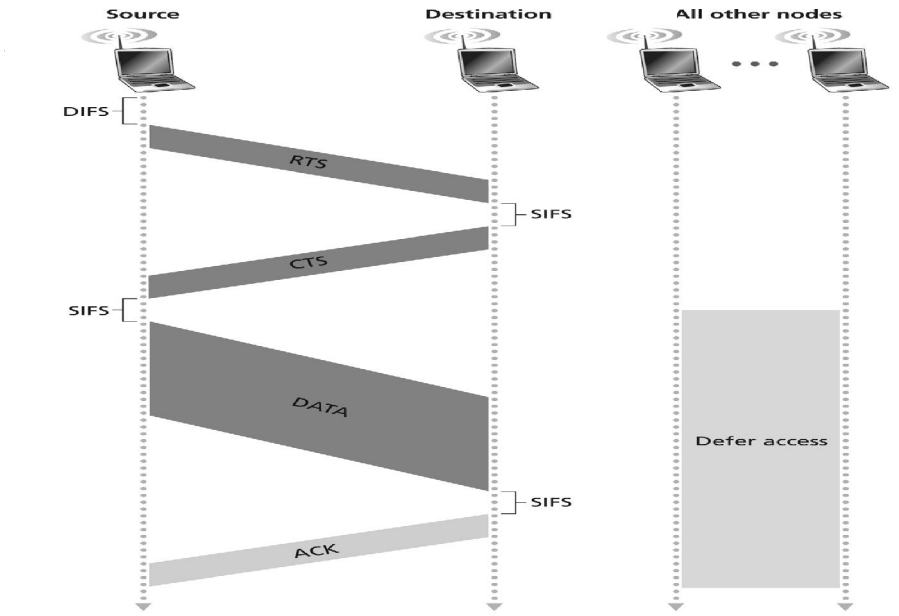


Figure 6.10 ♦ Collision avoidance using the RTS and CTS frames

Hajautettu DoS-hyökkäys (DDoS)

- Hyökkääjä ottaa ensin haltuun ison joukon koneita niiden omistajien huomaamatta
  - Koputtelee ja löytää turva-aukot
  - Asentaa hyökkäysohjelman, joka vain odottelee käskyä /kellolyömää
- Kaapatut koneet aloittavat samaan aikaan hyökkäyksen uhrin kimppuun
  - Hajautetusti
  - IP-osoitteet peukaloituina

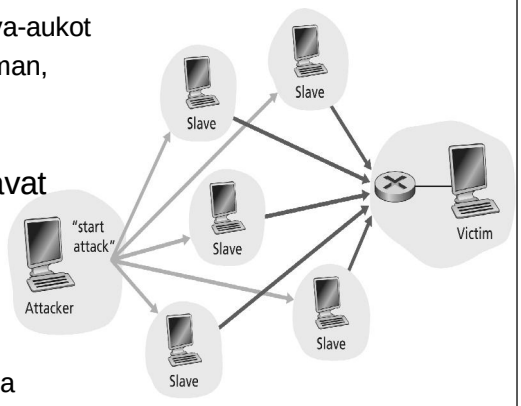
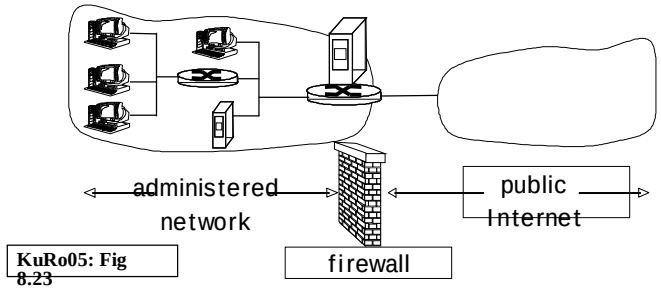


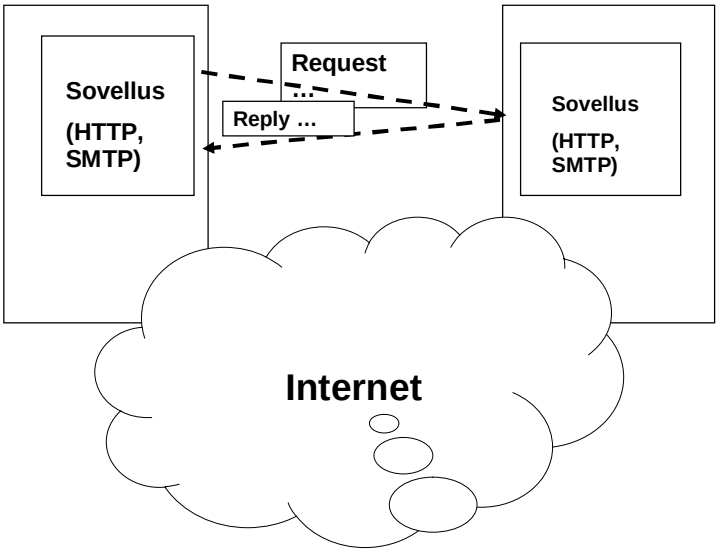
Figure 8.26 ♦ A DDoS attack

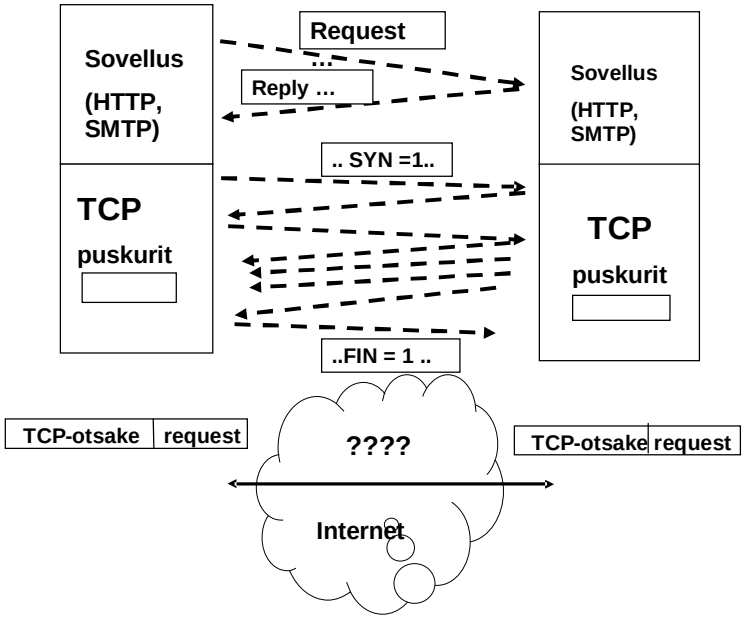
Palomuuri (firewall)

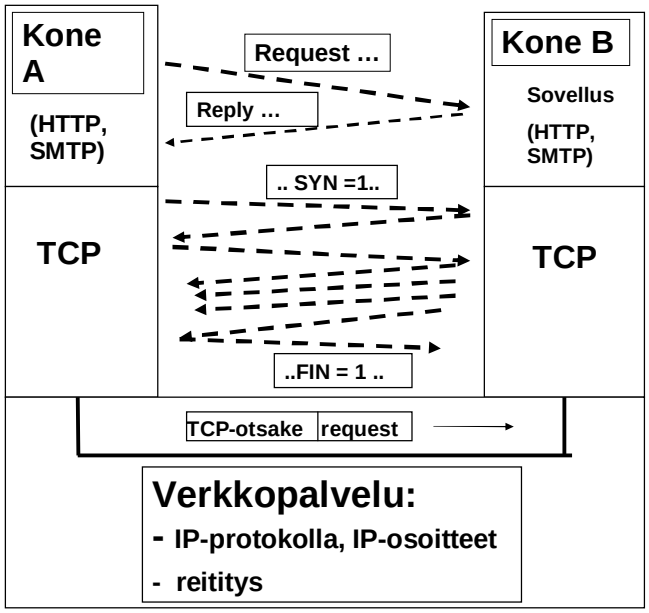
- Ohjelmisto + laitteisto
- Suodattaa (filteroi) liikennettä organisaation oman verkon (intranet) ja julkisen Interbetin välillä
  - Osa IP-paketeista pääsee palomuurin läpi, osa ei

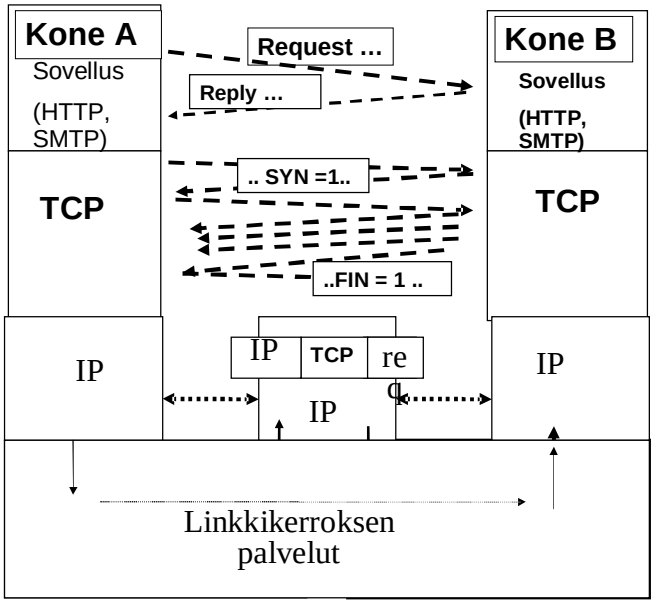


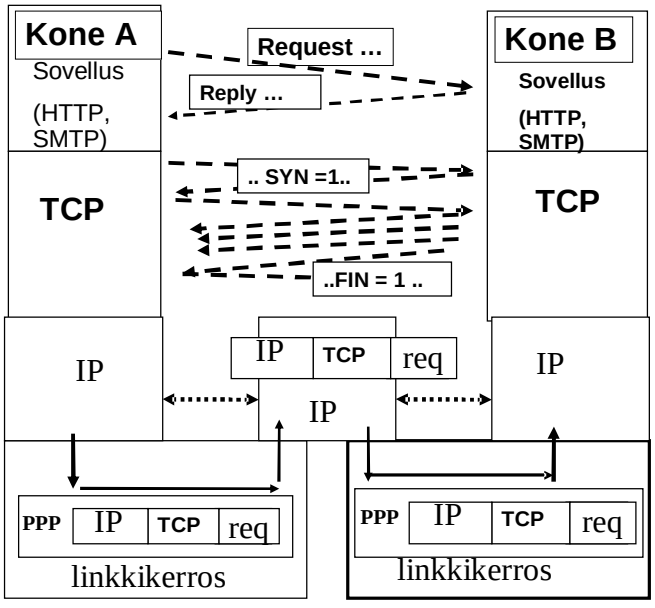
KuRo05: Fig 8.23




Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
puskurit
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
puskurit
TCP-otsake
request
????
Internet
TCP-otsake
request


Kone A
(HTTP, SMTP)
TCP
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
TCP-otsake
request
Verkkopalvelu:
- IP-protokolla, IP-osoitteet
- reititys


Kone A
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
IP
TCP
re
q
IP
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
Linkkikerroksen palvelut


Kone A
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
IP
TCP
req
IP
PPP
IP
TCP
req
linkkikerros
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
IP
PPP
IP
TCP
req
linkkikerros

Tietoliikenteen perusteet

Siinäpä se!