- jos ilmoitus lisäpuskureista katoaa, lähettäjä lukkiutuu odotustilaan
  - vastaanottaja voi luulla, ettei ole lähetettävää
- lukkiutumisen estämiseksi
  - kun ikkunankoko = 0 lähettäjä ei saa lähettää, paitsi
  - erityistä pikadataa (URG)
  - yhden tavun 'kyselyn', jonka vastaanottaja kuittaa ja samalla ilmoittaa ikkunan koon

    => estää turhat lukkiutumiset

Siirron optimointi

- TCP saa optimoida lähettämisiään
  - ei tarvitse lähettää heti kun data on tullut
  - dataa kerätään puskuriin ja lähetetään sopivassa tilanteessa
  - PUSH-lipun avulla sovellus ilmoittaa, että data on lähetettävä heti

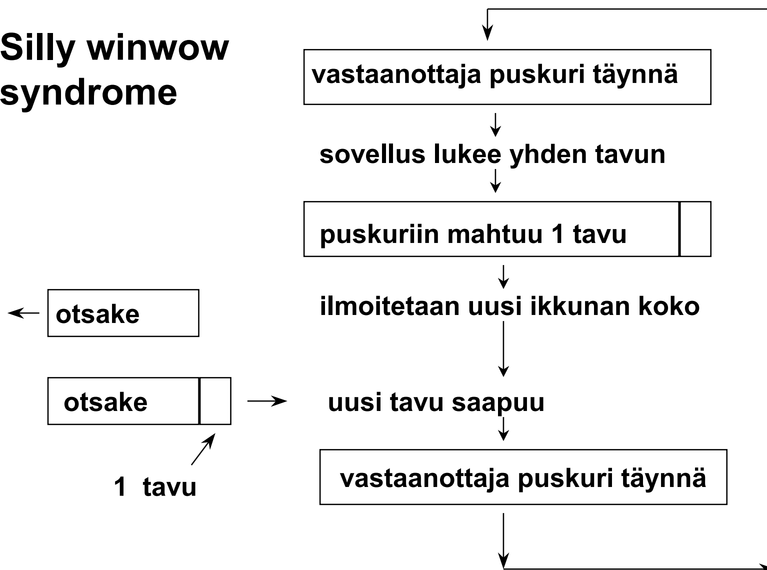
Optimointi on usein tarpeen:

- **Interaktiivinen editori => merkki lähetetään heti**
  - **21 tavun TCP-segmentti => 41 tavun IP-paketti**
  - **joka kuitataan 40 tavun IP-paketilla**
  - **ilmoitus uudesta ikkunan koosta 40 tavun IP-paketilla**
  - **kaiutetaan merkki vielä 41 tavun IP-paketilla**
  - **yhden merkin käsittely =>**
    - **162 tavun siirtäminen**
    - **ja neljän segmentin lähettäminen**

- **Ratkaisu: Naglen algoritmi**
  - **jos data tulee tavuttain**
    - **lähetä 1. tavu**
    - **kerää sitä seuraavat tavut puskuriin ja lähetä vasta kun edellinen lähetys on kuitattu**
    - **paitsi jos lähetettävää on suurimman segmentin verran tai puolet ikkunan koosta**
  - **hankala, jos hiirtä liikutellaan Internetin kautta!**

Silly window syndrome

- Tilanteessa, jossa
  - lähettäjältä dataa TCP:lle suurina lohkoina
  - vastaanottajalle mahtuu vain tavu kerrallaan
- voi tuhota TCP:n suorituskyvyn
  - koko data lähetetään tavu kerrallaan
  - joka tavun välissä ilmoitus ikkunan koon kasvattamisesta yhdellä
- Siis: ei ilmoitusta yhdestä tavusta, lähettäjä ei lähetä yhtä tavua
  - koko segmentti
  - puolet puskurin koosta



TCP-segmentti

- segmentti
  - 20 tavun otsake
    - + optionaalinen osa
  - dataosa
    - voi puuttua
- segmentin kokoa rajoittaa
  - MTU (Maximum transfer unit)
    - verkon rajoitus maksimikoolle (muutama tuhat tavua)
  - IP-paketin dataosa korkeintaan 65535 tavua
- liian isot segmentit paloitellaan
  - joka palalle IP-otsake => yleisrasite kasvaa

TCP-otsakkeen kentät

<table>
<tr><td colspan="8">Source port</td><td>Destination port</td></tr>
<tr><td colspan="9">Sequence number</td></tr>
<tr><td colspan="9">Acknowledgement number</td></tr>
<tr><td>TCP head. length</td><td></td><td>URG</td><td>ACK</td><td>PSH</td><td>RST</td><td>SYN</td><td>FIN</td><td>Window size</td></tr>
<tr><td colspan="8">Checksum</td><td>Urgent pointer</td></tr>
<tr><td colspan="9">Options (0 or more 32 bit words)</td></tr>
<tr><td colspan="9">Data (optional)</td></tr>
</table>

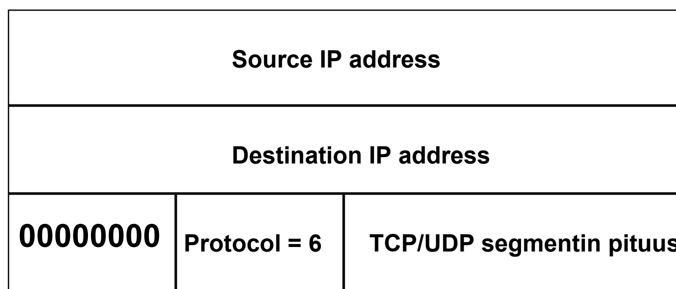
TPC-segmentin otsakekentät

- **Lähde- ja kohdeportit** (Source port, Destination port)
  - yhteyden päätepisteet
  - portti + koneen IP-osoite => 48 bittinen TSAP
- **Järjestysnumero (Sequence number)**
  - **tavut numeroidaan => 32 bittiä**
    - **segmentin ensimmäisen tavun numero**
- **Kuittausnumero (Acknowledgement number)**
  - **seuraavaksi odotettu tavu**
- **TCP-otsakkeen pituus (TCP header length)**
  - **mahdollisten optiokenttien takia**
- **6 bitin käyttämätön kenttä**

- **6 lippubittiä**
  - **URG onko pikadataa**
    pikadatan sijainnin ilmoittaa
    pikadatakenttä (Urgent pointer)
  - **ACK onko kuittauskenttä käytössä**
  - **PSH onko hetilähetettävää (pushed) dataa**
  - **RST yhteyden uudelleenalustuspyyntö (reset),**
    yleensä ongelmatilanne
  - **SYN käytetään yhteyttä muodostettaessa**
    SYN =1, ACK = 0 connection request
    SYN =1, ACK = 1 connection accepted
  - **FIN käytetään yhteyden purkuun**
    FIN =1 ei enää lähetettävää

- **Ikkunan koko** (window size)
  - vaihteleva ikkunankoko
  - kuittaus irroitettu lähetysluvasta
- **Tarkistussumma** (Checksum)
  - lasketaan otsakkeelle, datalle ja ns. pseudo-otsakkeelle

pseudo-otsake



Auttaa havaitsemaan väärään osoitteeseen toimitetut paketit.

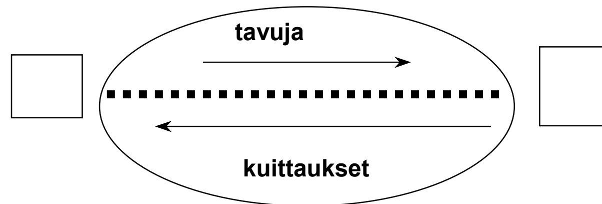
Sisältää IP-otsakkeen tietoja!

- Optiokenttä (options)
  - voidaan lisätä piirteitä, joita ei ole varsinaisessa otsakkeessa
    - suurin hyväksyttävä datakenttä
    - ikkunan koon moninkertaistaminen (window scale)
      - nopeille ja pitkän viipeen linjoille 64 ktavun ikkunan koko on liian pieni
    - valikoivan toiston käyttö 'go back N':n tilalla
      - vähentää turhia uudelleenlähetyksiä

3.6. TCP:n ruuhkan valvonta

- Liikaa kuormitusta => verkko ruuhkautuu => hidastetaan lähettämistä
- Ruuhkan havaitseminen
  - nykyisin siirtovirheet harvinaisia
    - poikkeuksena langattomat verkot
  - => uudelleenlähetykset johtuvat ruuhkasta
    - uudelleenlähetysajastimen laukeaminen on merkki ruuhkasta

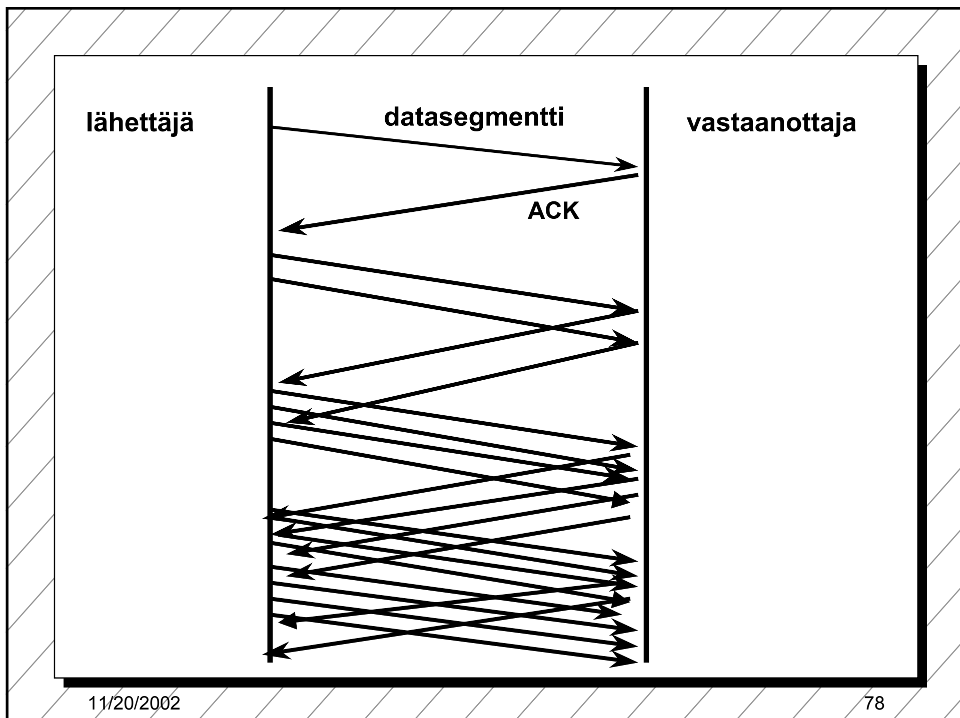
- **ruuhkaikkuna**
  - **“paljonko tavuja (segmenttejä) lähettäjällä saa korkeintaan olla verkossa liikkeellä”**
    - **paljonko lähettäjä saa kuormittaa verkkoa**
  - **kuittaus => ko. tavut jo poistuneet verkosta**



- **Ruuhkaikkunan koko?**
  - **Lähettäjän on itse pääteltävä ja arvioitava sopiva ruuhkaikkunan koko**
    - **kukaan muu ei sitä kerro!**
    - **uudelleenlähetysajastin laukeaa => on ruuhkaa**
    - **kuittaukset tulevat tasaisesti => ei ole ruuhkaa**
  - **Internet-verkon kuormitus voi vaíhdella paljon**
- **Dynaaminen ruuhkaikkunan koko:**
  - **ruuhkaikkunaa kasvatetaan, kunnes törmätään ruuhkaan**
    - **ensin kasvatetaan melko nopeasti, sitten varovaisemmin**
  - **sen jälkeen ruuhkaikkunaa pienennetään reilusti**
  - **ja aletaan uudestaan kasvattaa ruuhkaikkunaa**

Hitaan aloituksen algoritmi (slow start)

- **Algoritmi pyrkii löytämään sopivan ikkunan koon yhteyden alussa tai ruuhkatilanteen jälkeen mahdollisimman nopeasti**
  - **ei ole niin kovin hidas, vaan alussa eksponentiaalinen!**
  - **alussa ruuhkaikkuna = yksi segmentti**
  - **kuitattu ruuhkaikkunallinen kasvattaa ruuhkaikkunan kaksinkertaiseksi**



- kynnysarvo (threshold)
  - aluksi 64 K
  - 'varoitusarvo' = tästä lähtien syytä varoa ruuhkaa
  - kynnysarvoon saakka voidaan kasvattaa ruuhkaikkunaa eksponentiaalisesti
  - kynnysarvon saavuttamisen jälkeen kasvatetaan ruuhkaikkunaa vain lineaarisesti
    - = kasvatetaan kuittausten jälkeen vain yhdellä
    - edetään hyvin varovaisesti!

- jos ajastin ehtii laueta => ruuhkatilanne
  - kynnysarvoksi puolet nykyisestä ruuhkaikkunan arvosta
  - hitaalla aloituksella etsitään taas uusi sopiva ruuhkaikkunan arvo
    - ruuhkaikkunan arvoksi 1 segmentti
    - ruuhkaikkunaa kasvatetaan aluksi eksponentiaalisesti eli kaksinkertaistetaan kun ikkunallinen on kuitattu
  - kynnysarvon saavuttamisen jälkeen kasvatetaan vain segmentti kerrallaan
  - kunnes taas havaitaan ruuhka ja aloitetaan ruuhkaikkunan uuden arvon etsiminen

Uudelleenlähetysjastimen hallinta

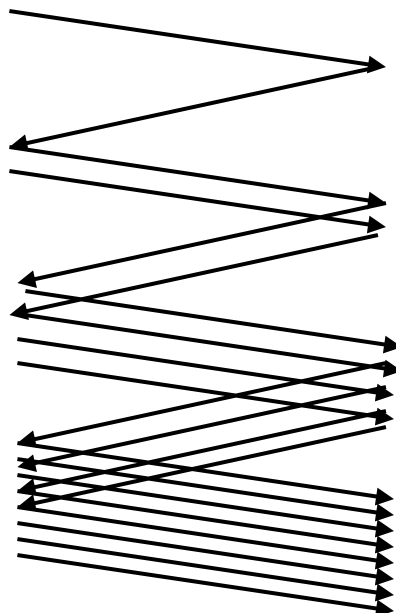
- **uudelleenlähetysajastin** (retransmission timer)
  - – asetetaan aina kun segmentti lähetetään
  - – ruuhkaa, jos kuittaus ei saavu ajoissa
- **mikä on sopiva ajastimen aika?**
  - kuittaus aika vaihtelee suuresti
  - vaihtelu on myös nopeaa
- **dynaaminen arvo**
  - saadaan jatkuvien verkon suorituskykymittauksien perusteella

- **RTT**
  - arvio kiertoviiveelle (round-trip time)
  - mitataan jokaisen lähetetyn segmentin kiertoviive M

    RTT = αRTT + (1-α)M, tyypillisesti α = 7/8
- **uudelleenlähetysajastimen arvo βRTT**
  - aluksi β oli aina 2
  - parannus: otetaan huomioon myös poikkeama D (deviation) oletetun ja saadun kiertoviiveen välillä |RTT-M|

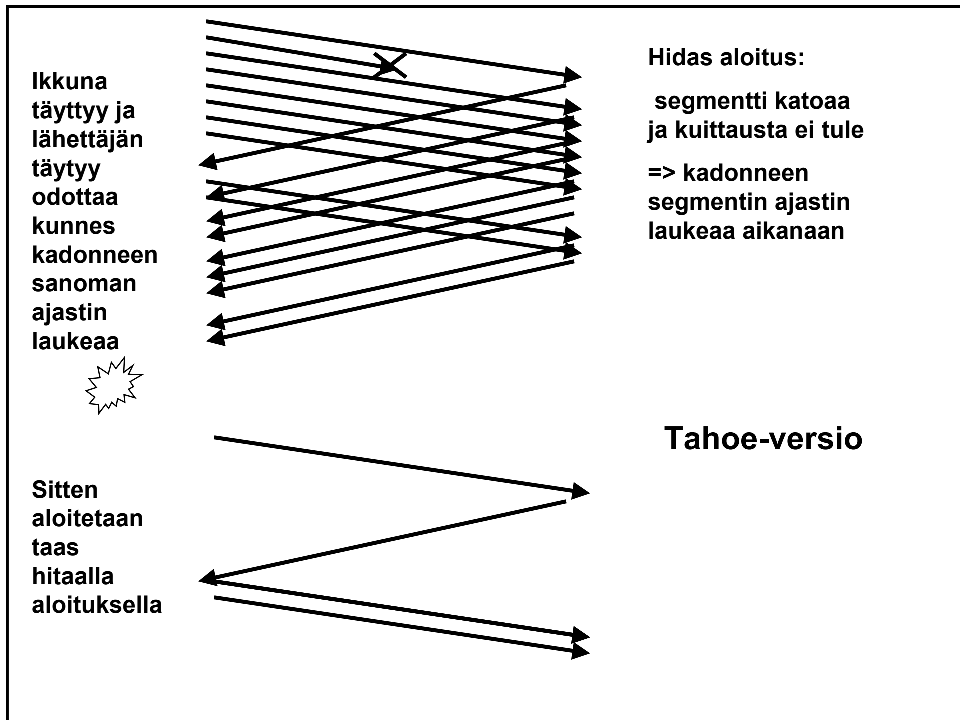
    D = α D + (1- α)|RTT-M|
  - ajastimen arvo = RTT +4*D

- **uudelleenlähetysten vaikutus ajastimeen**
  - **kumpaan segmenttiin kuittaus kohdistuu?**
- **Karnin algoritmi**
  - **ei oteta huomioon uudelleenlähettyjen segmenttien kuittauksia RTT:n laskemisessa**



Hidas aloitus:

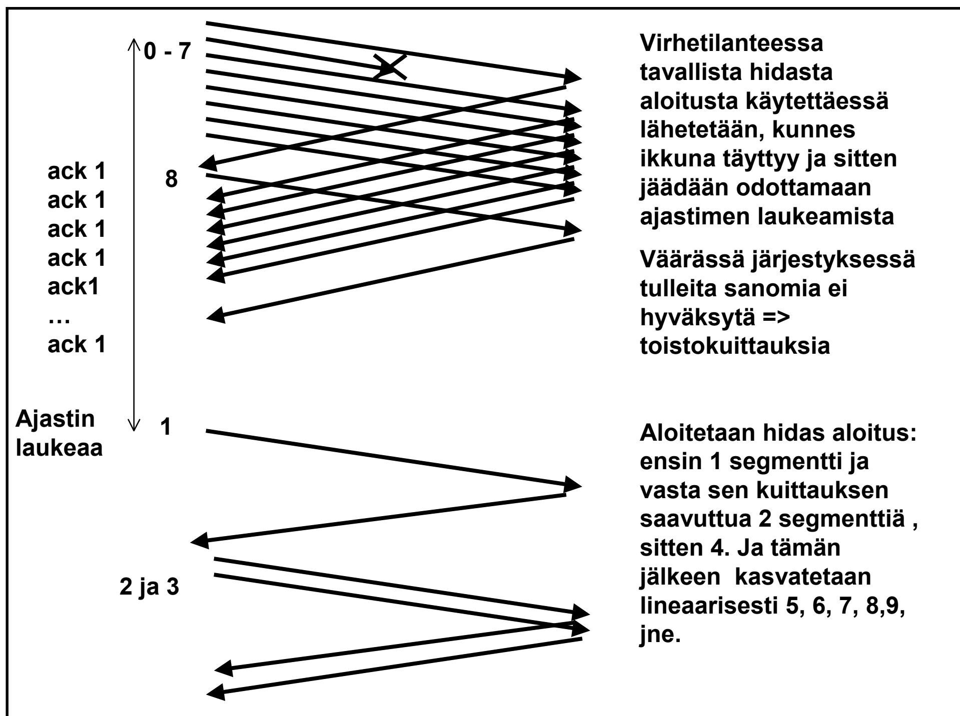
Lähetysmäärä kasvaa eksponentiaalisesti

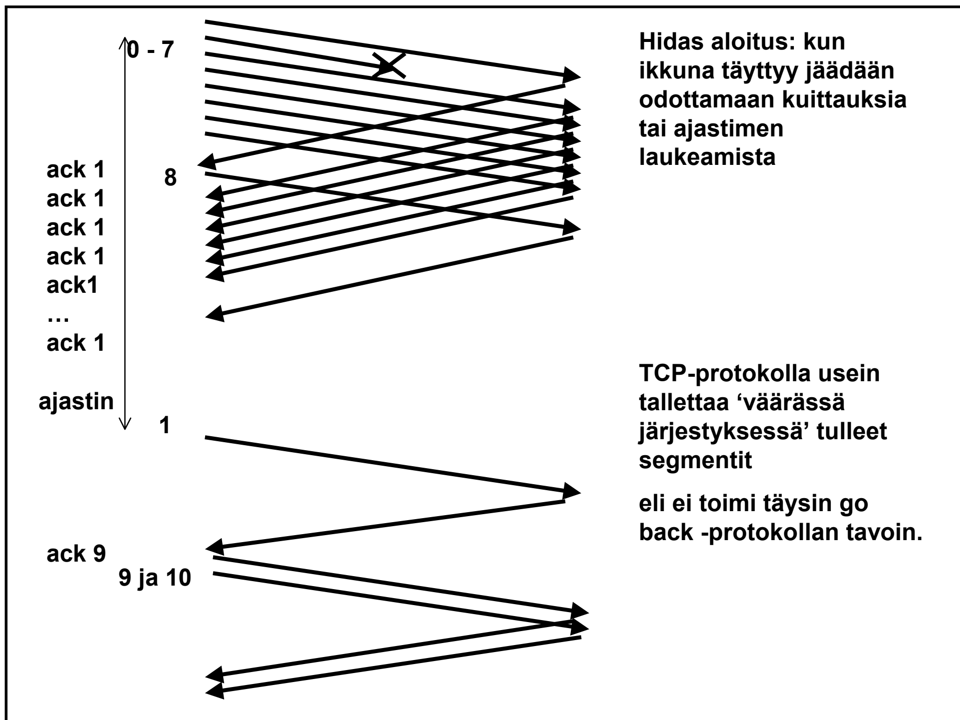


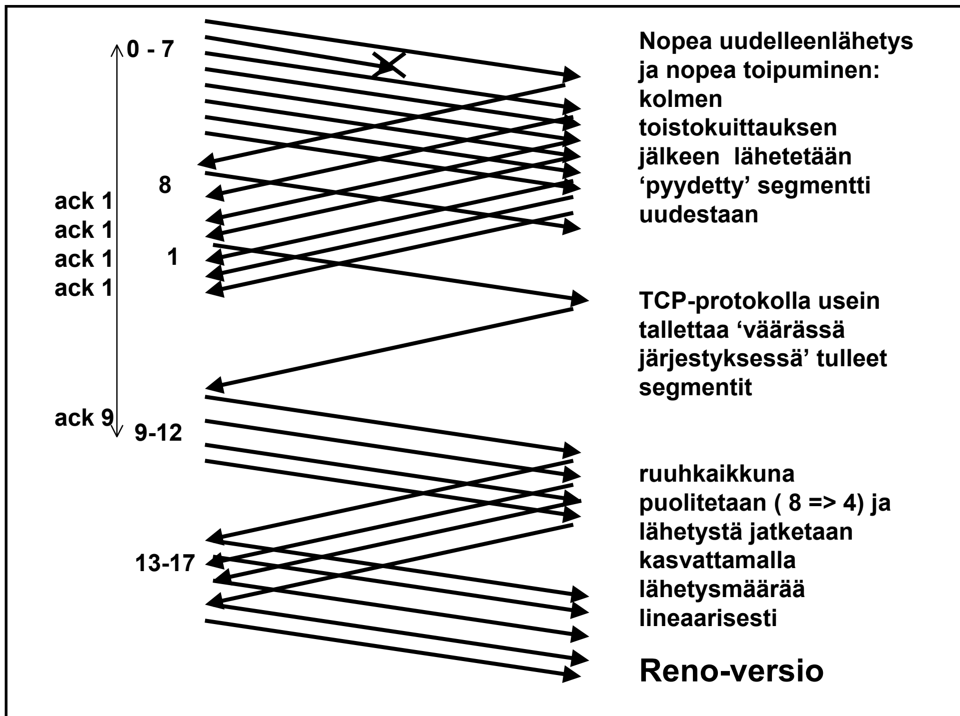
Parannuksia ruuhkanvalvontaan

- **Nopea uudelleenlähetys** (Fast Retransmit)
  - ei odoteta ajastimen laukeamista ennen uudelleenlähetystä
  - vastaanottaja kuittaa jokaisen paketin
  - kun vastaanottaja huomaa puuttuvan paketin, se lähettää uudelleen edellisen paketin kuittauksen
    - Duplicate ACK (~ NAK)
  - kun lähettäjä saa useita (3) peräkkäisiä saman paketin toistokuittauksta=> se havaitsee tästä paketin puuttuvan ja lähettää sen heti uudelleen
  - => nopeampi uudelleenlähetys

- **Nopea toipuminen (Fast Recovery)**
  - **kun kadonnut paketti huomataan nopealla toipumisella, ei aloiteta alusta hitaalla aloituksella**
    - **vaan pudotetaan ruuhkaikkuna puoleen**
    - **ja jatketaan normaalilla lineaarisella kasvattamisella**
  - **Mitä hyötyä tästä on?**
  - **Miksi voidaan huoletta tehdä näin?**




0 - 7
Hidas aloitus: kun ikkuna täyttyy jäädään odottamaan kuittauksia tai ajastimen laukeamista
ack 1
8
ack 1
ack 1
ack 1
ack1
…
ack 1
TCP-protokolla usein tallettaa 'väärässä järjestyksessä' tulleet segmentit
ajastin
1
eli ei toimi täysin go back -protokollan tavoin.
ack 9
9 ja 10


0 - 7
Nopea uudelleenlähetys ja nopea toipuminen: kolmen toistokuittauksen jälkeen lähetetään 'pyydetty' segmentti uudestaan
8
ack 1
ack 1
ack 1
1
ack 1
TCP-protokolla usein tallettaa 'väärässä järjestyksessä' tulleet segmentit
ack 9
9-12
ruuhkaikkuna puolitetaan (8 => 4) ja lähetystä jatketaan kasvattamalla lähetysmäärää lineaarisesti
13-17
Reno-versio

- hidas aloitus ja ruuhkan valvonta ongelmallisia langattomassa yhteydessä
  – Miksi?

- Lisäparannuksia ruuhkanhallintaan
  – esim. Vegas
    - ruuhkan ennustaminen ennen ajastimen laukeamista
    - ruuhkaikkunaa ei kasvateta aina ruuhkaan asti
    - RED (random early detection)
  – entä UDP?

TCP langattomassa verkossa

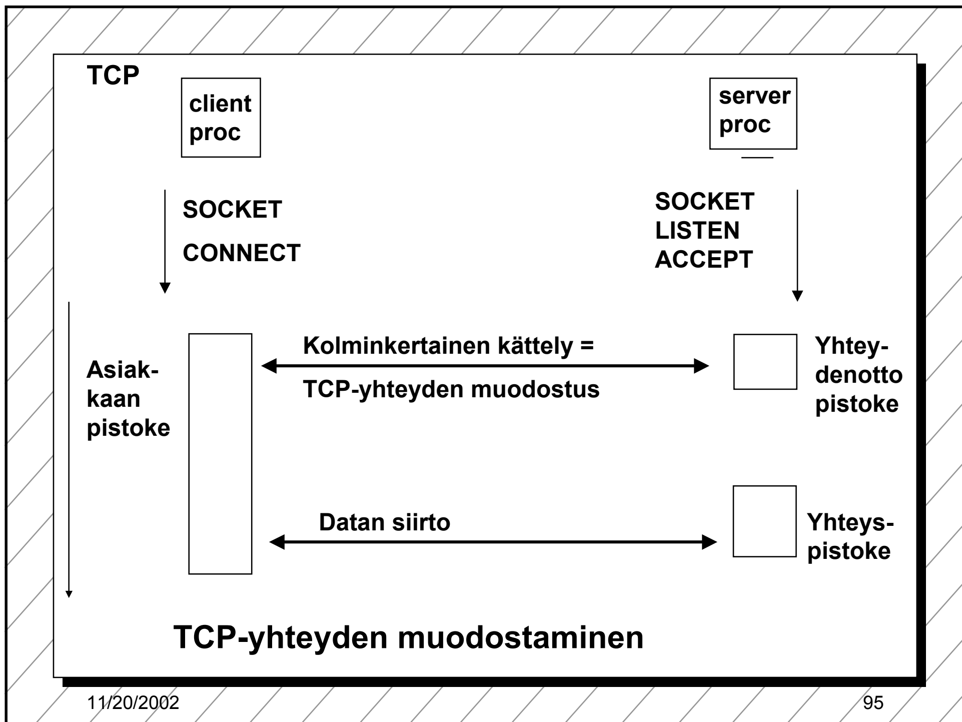
- monet TCP-toteutukset optimoitu luotettaville lankaverkoille => suorituskyky langattomissa verkoissa erittäin huono
  – ruuhkanvalvonta-algoritmi olettaa ajastimen laukeamisen johtuvan ruuhkasta
    - lähettämistä hidastetaan, jotta verkon kuormitus pienenisi ja ruuhkaa ei syntyisi
  – langattomat yhteydet ovat epäluotettavia ja paketteja katoaa
    - kadonneet paketit syytä lähettää nopeasti uudelleen
    - lähetystä pitäisi päinvastoin nopeuttaa!

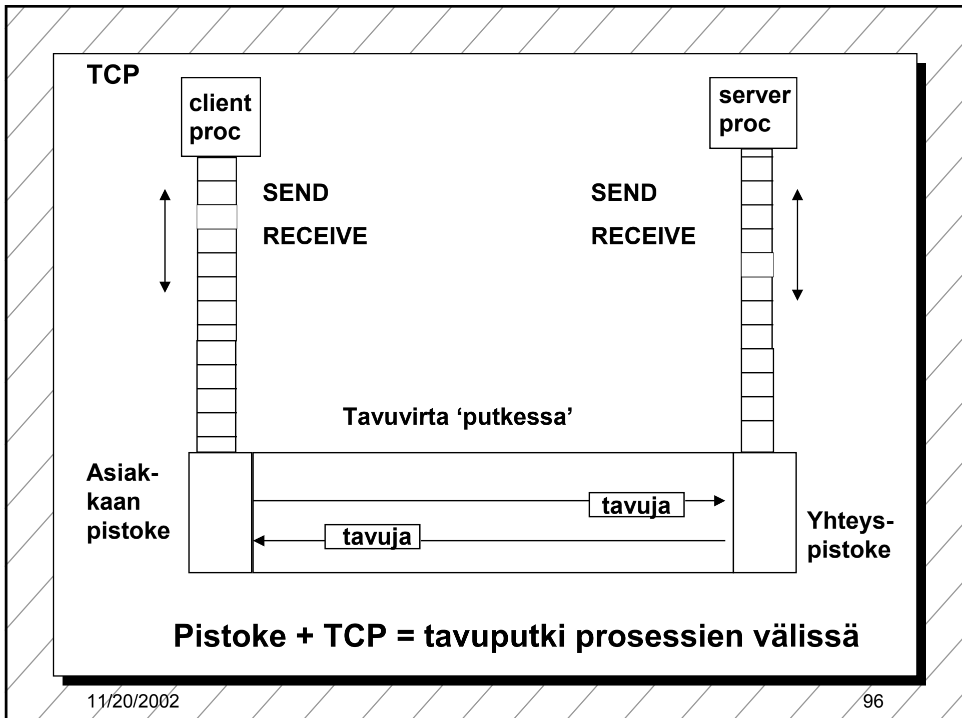
TCP-yhteyden hallinta

- yhteys muodostetaan kolminkertaisella kättelyllä
- passiivinen osapuoli kuuntelee
  - SOCKET
  - BIND
  - LISTEN
  - ACCEPT
- aktiivinen osapuoli aloittaa yhteydenmuodostuksen
  - CONNECT

- CONNECT-primitiivi
  – parametreina
    - IP-osoite ja porttinumero
    - suurin hyväksyttävä segmentin koko
    - muuta tietoa, esim. salasana

- TCP-segmentti, jossaSYN-segmentti
  - SYN = 1
  - ACK = 0

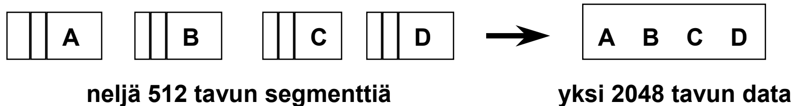

TCP
client proc
server proc
SOCKET
CONNECT
SOCKET
LISTEN
ACCEPT
Asiak-
kaan
pistoke
Kolminkertainen kättely =
TCP-yhteyden muodostus
Yhtey-
denotto
pistoke
Datan siirto
Yhteys-
pistoke
TCP-yhteyden muodostaminen
11/20/2002
95


TCP
client proc
server proc
SEND
RECEIVE
SEND
RECEIVE
Tavuvirta ‘putkessa’
Asiak-
kaan
pistoke
tavuja
tavuja
Yhteys-
pistoke
Pistoke + TCP = tavuputki prosessien välissä
11/20/2002
96

- TCP-yhteys on tavuvirtaa, ei sanomavirtaa
  - lähetettäessä neljä 512 tavun pätkää vastaanottaja saa joko
    - neljä 512 tavun pätkää
    - kaksi 1024 tavun pätkää
    - yhden 2048 tavun pätkän

Segmentit lähetetään neljänä eri IP-pakettina

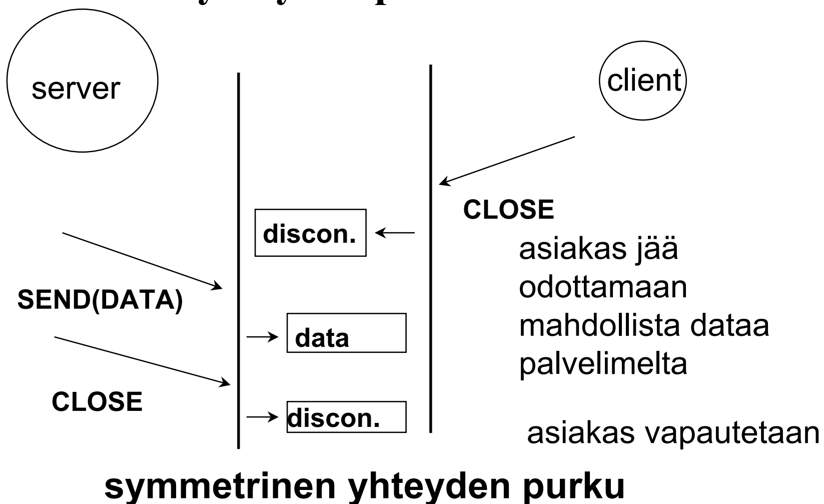
Ne luovutetaan vastaanottajalle yhdellä READ-kutsulla



neljä 512 tavun segmenttiä

yksi 2048 tavun data

yhteyden purkaminen



symmetrinen yhteyden purku

C-rutiineina

int socket(int domain, int type, int protocol)

palvelin:

int bind (int socket, struct sockaddr *address,
int addr_len)

int listen(int socket, int backlog)

int accept(int socket, struct sockaddr *address,
int *addr_len

asiakas:

int connect (intsocket, struct sockaddr *address,
int addr_len)

int send(int socket, char *message, int msg_len, int flags)

sanoman lähetys annetun pistokkeen kautta

int recv(int socket, char *buffer, int buf_len, int flags)

sanoma vastaanotto annetusta pistokkeesta ilmoitettuun puskuriin

Pistokeohjelmointia Javalla

- **Socket clientSocket = new Socket(“hostname”, 6789);**
- **clientSocket.close();**
- **ServerSocket welcomeSocket = new Server Socket (6789);**
- **Socket connectionSocket = welcomeSocket;**
- **accept()**

- **(esimerkki kirjassa Kurose, Ross, Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Interbet)**

Pistokeohjelmointi

- **Pistokeohjelmointia ja yleensä hajautettujen verkkosovellusten tekemistä opetellaan erillisellä kurssilla**
  - **Verkkosovellusten toteuttaminen**

  (järjestetään keväällä 2003)

Yhteenveto

- Kuljetuskerroksen palvelut
  - UDP
  - TCP
    - luotettava tavuvirta
      - yhteyden muodostus ja purku
      - numerointi, tarkistussumma,
      - kuittaus, uudelleenlähetys, Go-back N
      - vuonvalvonta: vastaanottoikkuna (liukuva ikkuna)
      - ruuhkanhallinta: hidas aloitus
  - pistokeohjelmointi