- kynnysarvo (threshold)
  - ‘varoitusarvo’ = tästä lähtien syytä varoa ruuhkaa
  - aluksi 64 K
  - 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

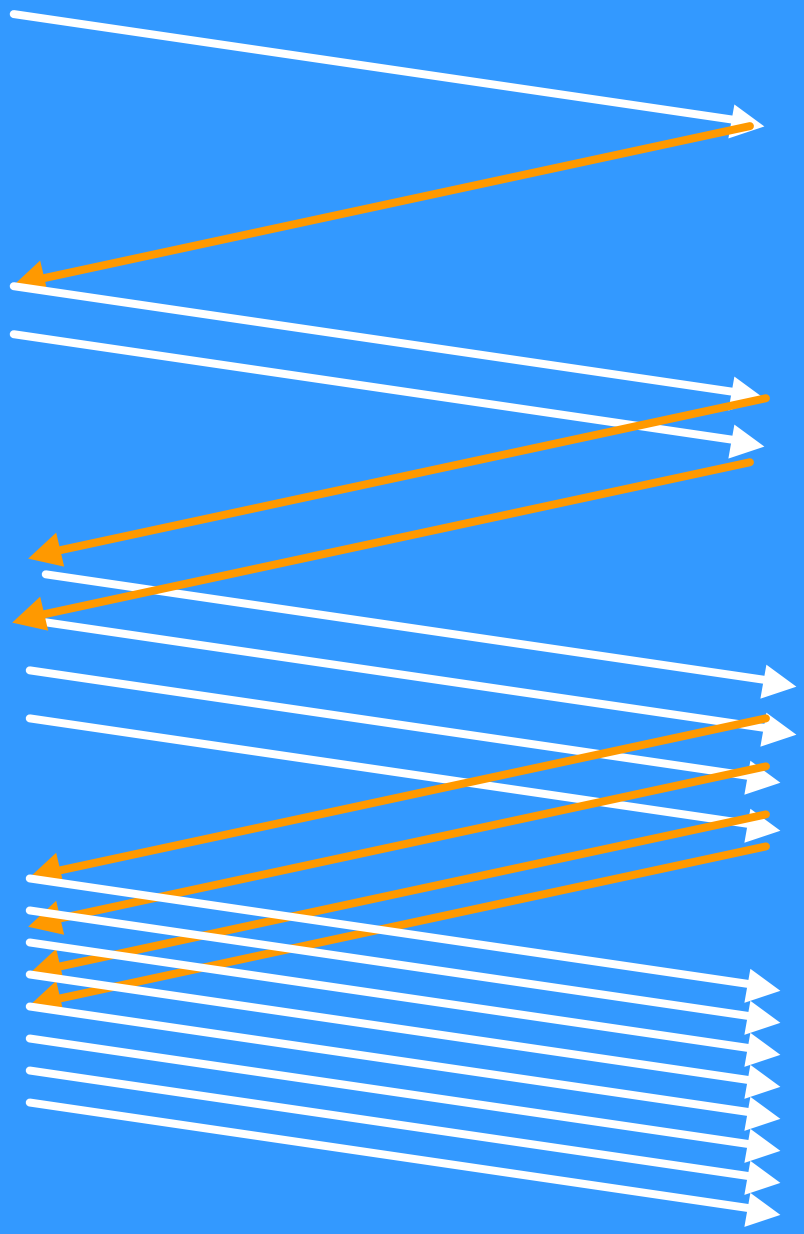
- uudelleenlähetysajastin (retransmission timer)
  - asetetaan aina kun segmentti lähetetään
  - ruuhkaa, jos kuittaus ei saavu ajoissa
- mikä on sopiva ajastimen aika?
  - kuittaus aika vaihtelee suuresti
  - vaihtelu on myös nopeaa
- dynaaminen arvo
  - saadaan jatkuvien verkon suorituskykymittauksien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

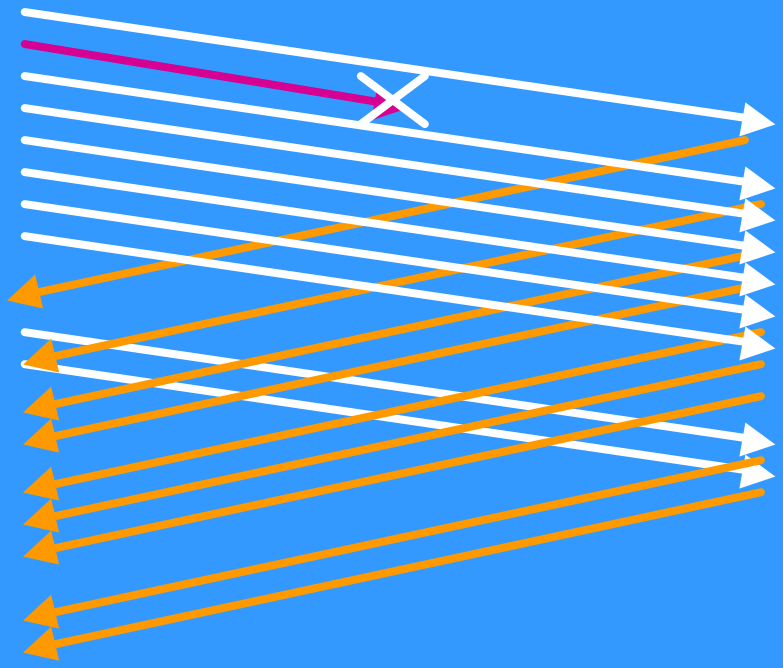
- uudelleenlähetysten vaikutus ajastimeen
  - kumpaan segmenttiin kuittaus kohdistuu?
- Karnin algoritmi
  - ei oteta huomioon uudelleenlähettyjen segmenttien kuittauksia RTT:n laskemisessa



Hidas aloitus:

Lähetysmäärä kasvaa eksponentiaalisesti

Ikkuna
täyttyy ja
lähettäjän
täytyy
odottaa
kunnes
kadonneen
sanoman
ajastin
laukeaa



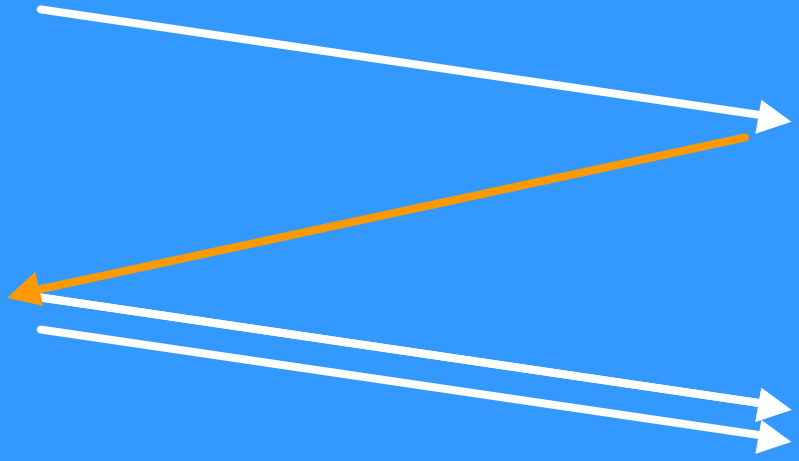
Hidas aloitus:

segmentti katoaa
ja kuittausta ei tule

=> kadonneen
segmentin ajastin
laukeaa aikanaan

Tahoe-versio

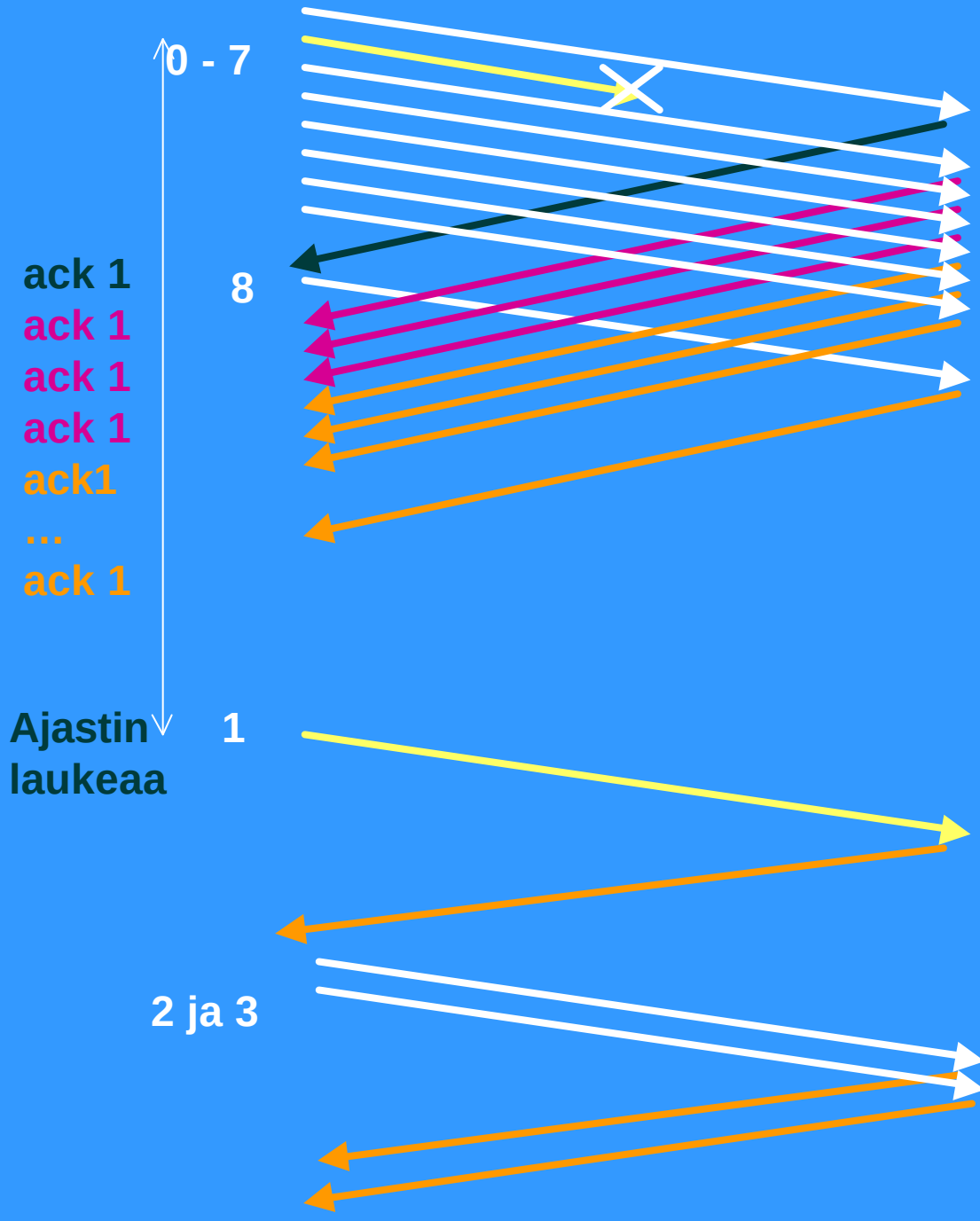
Sitten
aloitetaan
taas
hitaalla
aloituksella



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

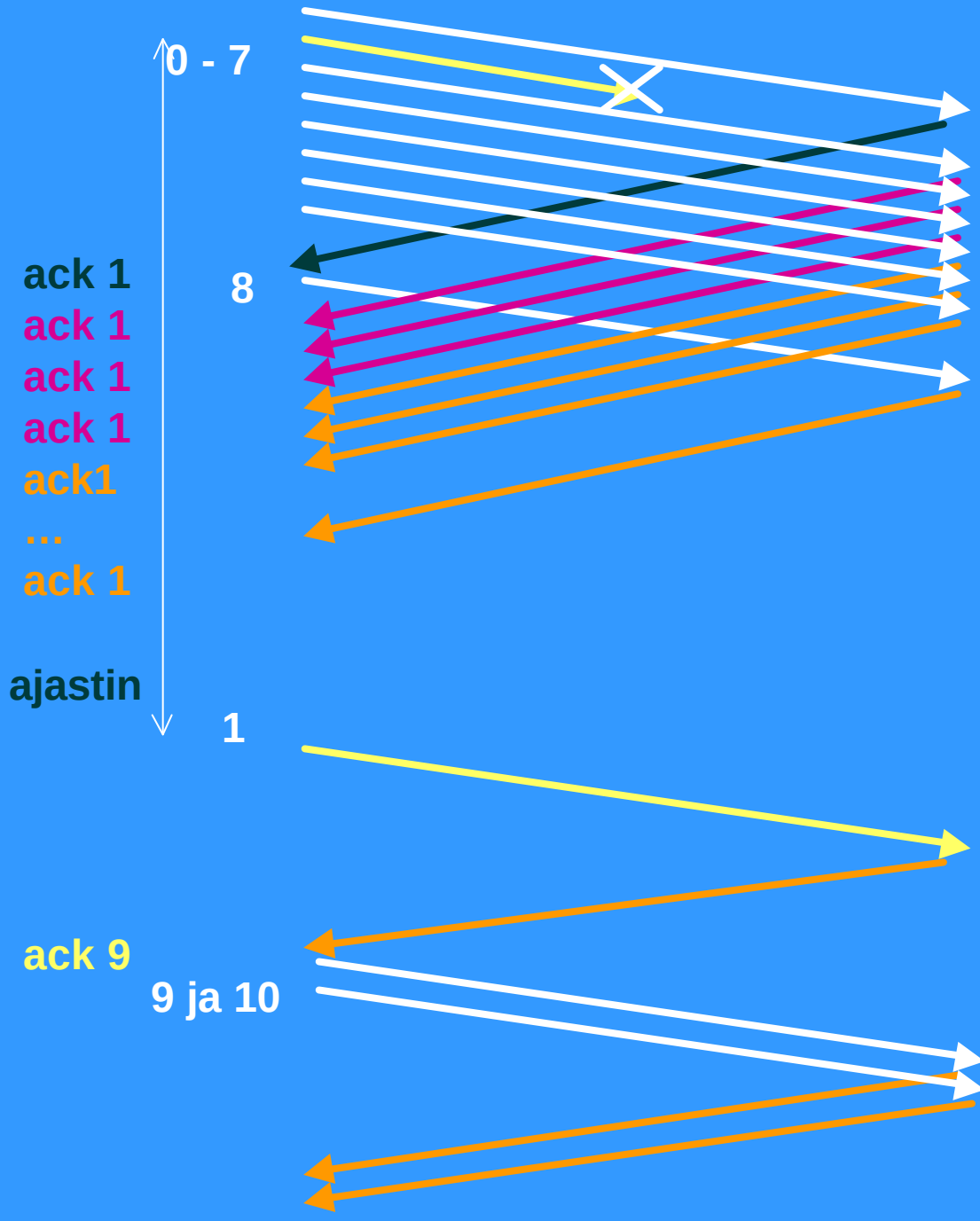
- Nopea toipuminen (Fast Recovery)
  - kun kadonnut paketti huomataan nopealla toipumisella, ei aloiteta alusta hitaalla aloituksella
    - vaan pudotetaan ruuhkaikkuna puoleen
    - ja jatketaan normaalilla lineaarisella kasvattamisella
  - Mitä hyötyä tästä on?
  - Miksi voidaan huoletta tehdä näin?



Virhetilanteessa tavallista hidasta aloitusta käytettäessä lähetetään, kunnes ikkuna täyttyy ja sitten jäädään odottamaan ajastimen laukeamista

Väärässä järjestyksessä tulleita sanomia ei hyväksytä => toistokuittauksia

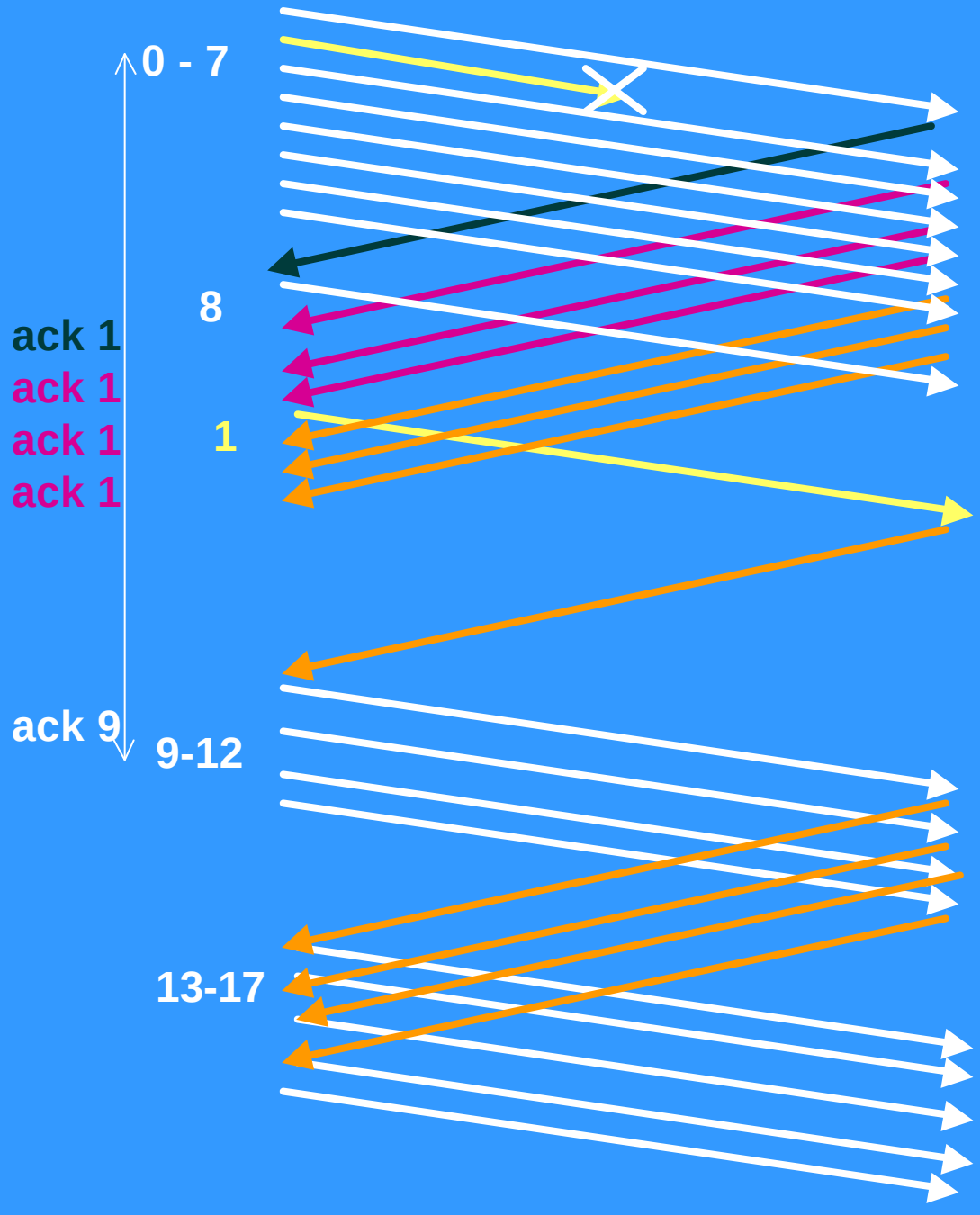
Aloitetaan hidas aloitus: ensin 1 segmentti ja vasta sen kuittauksen saavuttua 2 segmenttiä , sitten 4. Ja tämän jälkeen kasvatetaan lineaarisesti 5, 6, 7, 8,9, jne.



Hidas aloitus: kun ikkuna täyttyy jäädään odottamaan kuittauksia tai ajastimen laukeamista

TCP-protokolla usein tallettaa ‘väärässä järjestyksessä’ tulleet segmentit

eli ei toimi täysin go back -protokollan tavoin.



Nopea uudelleenlähetys ja nopea toipuminen:
kolmen toistokuittauksen jälkeen lähetetään ‘pyydetty’ segmentti uudestaan

TCP-protokolla usein tallettaa ‘väärässä järjestyksessä’ tulleet segmentit

ruuhkaikkuna puolitetaan (8 => 4) ja lähetystä jatketaan kasvattamalla lähetysmäärää lineaarisesti

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

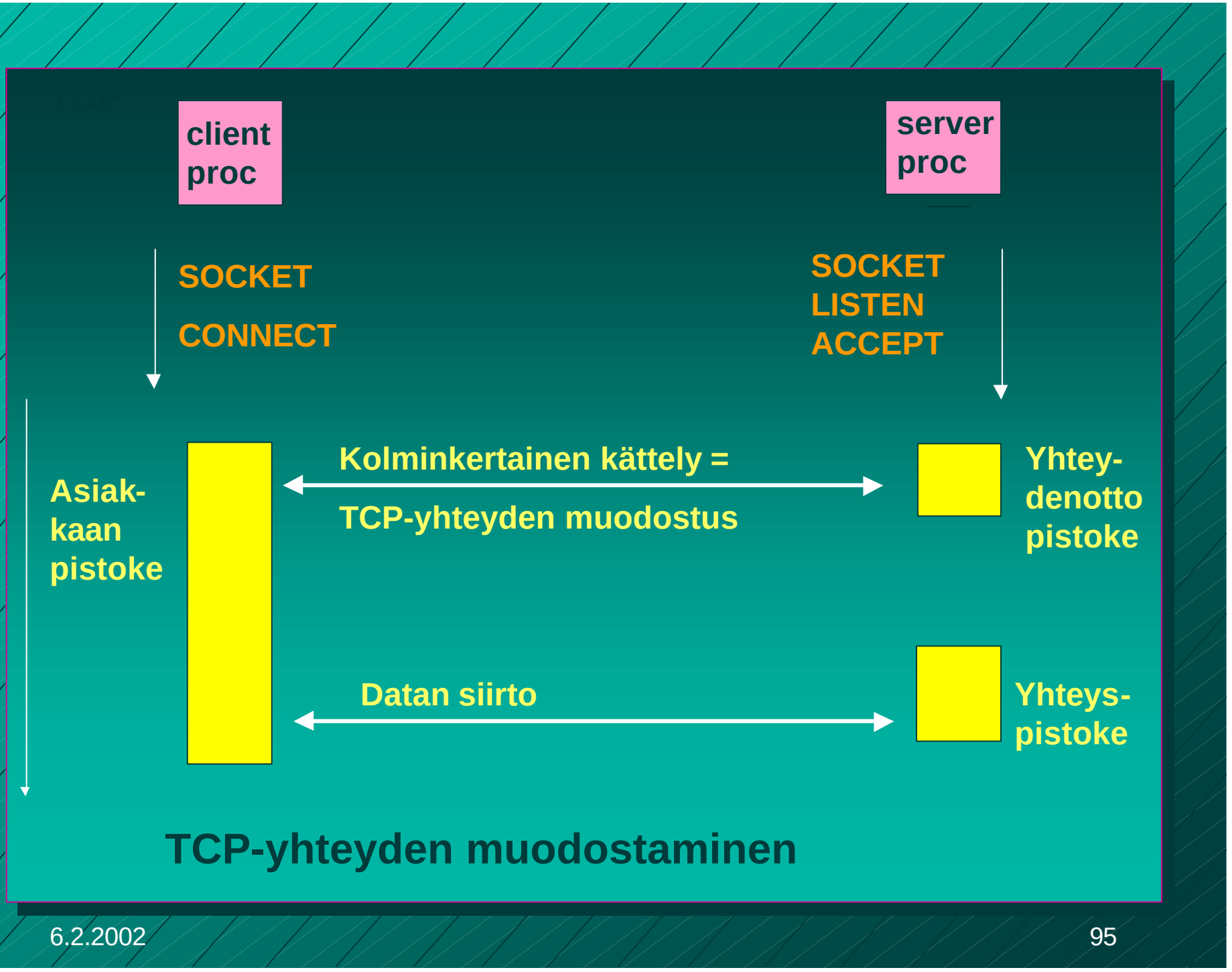
- monet TCP-toteutukset optimoitu luotettaville lankaverkoille => suorituskyky langattomissa verkoissa erittäin huono
  - ruuhkanvalvonta-algoritmi olettaa ajastimen laukeamisen johtuvan ruuhkasta
    - lähettämistä hidastetaan, jotta verkon kuormitus pienenisi ja ruuhkaa ei syntyisi
  - langattomat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

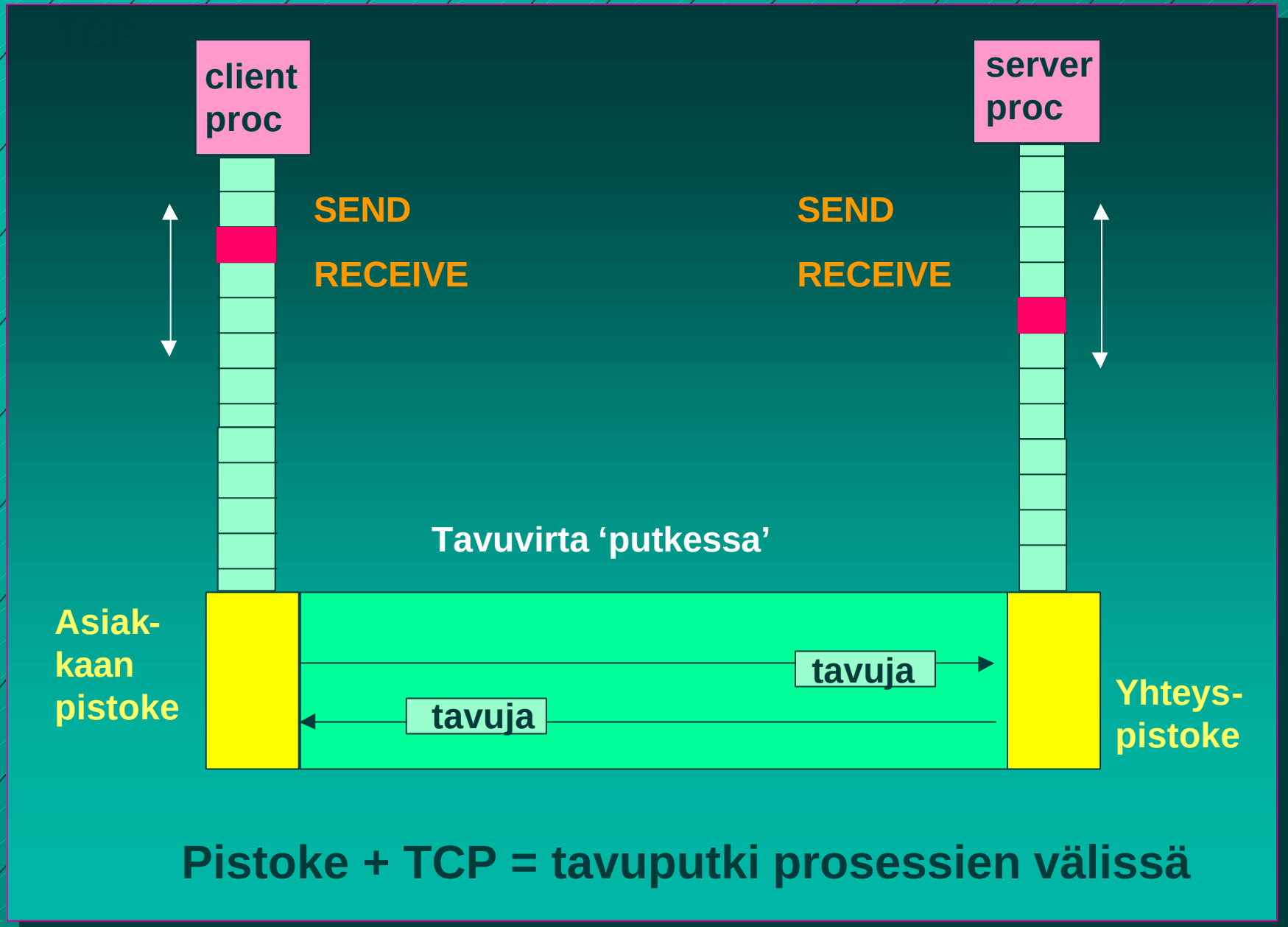
TCP-yhteyden hallinta

- 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


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



Pistoke + TCP = tavuputki prosessien välissä

- 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

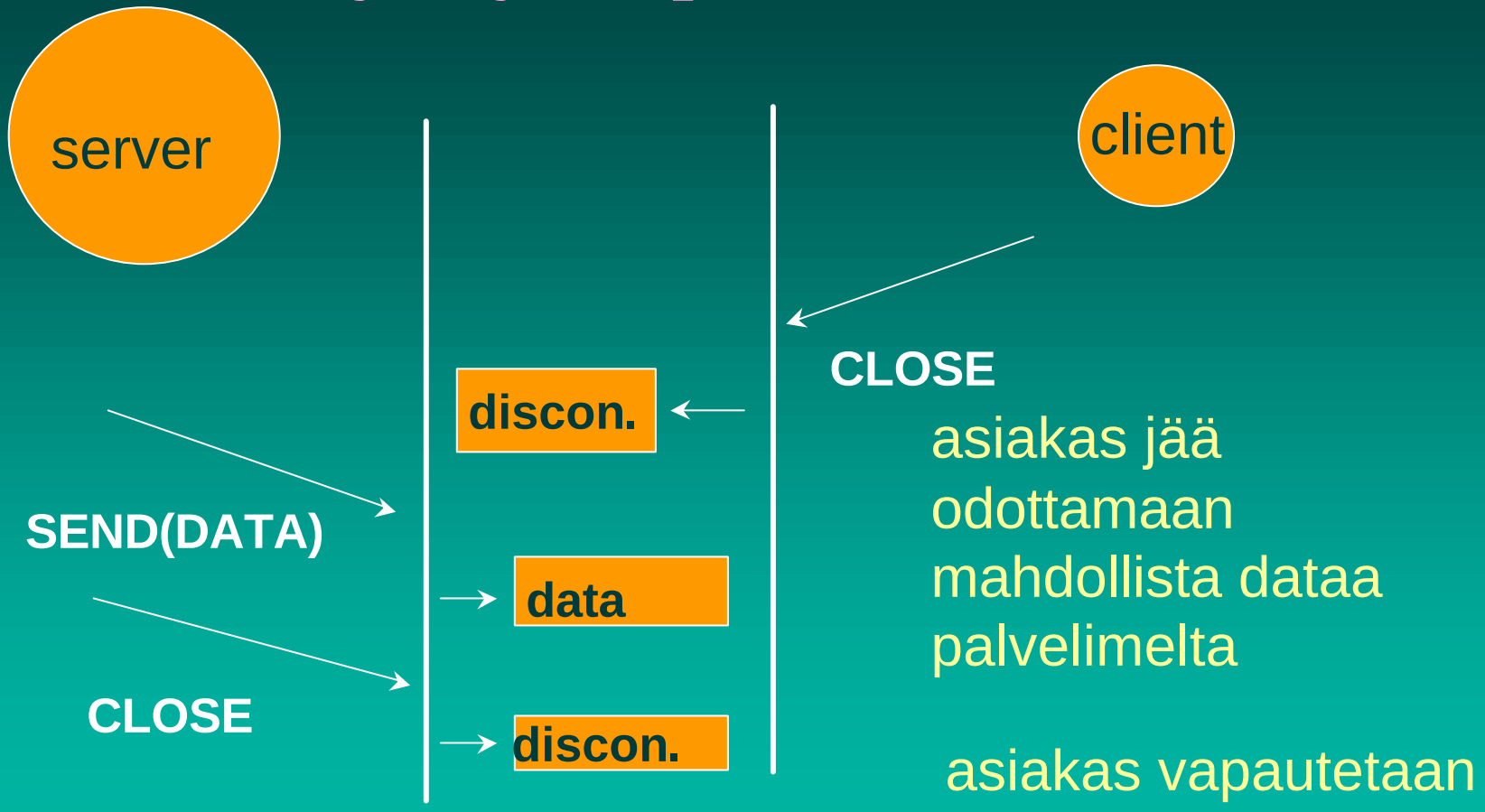
Segmentit lähetetään neljänä eri IP-pakettina

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 2002)

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