Limited Transmit

- RFC 3042: **Enhansing TCP's Loss Recovery Using Limited Transmit.**

  M. Allman, H. Balakrishnan, S. Floyd. January 2001

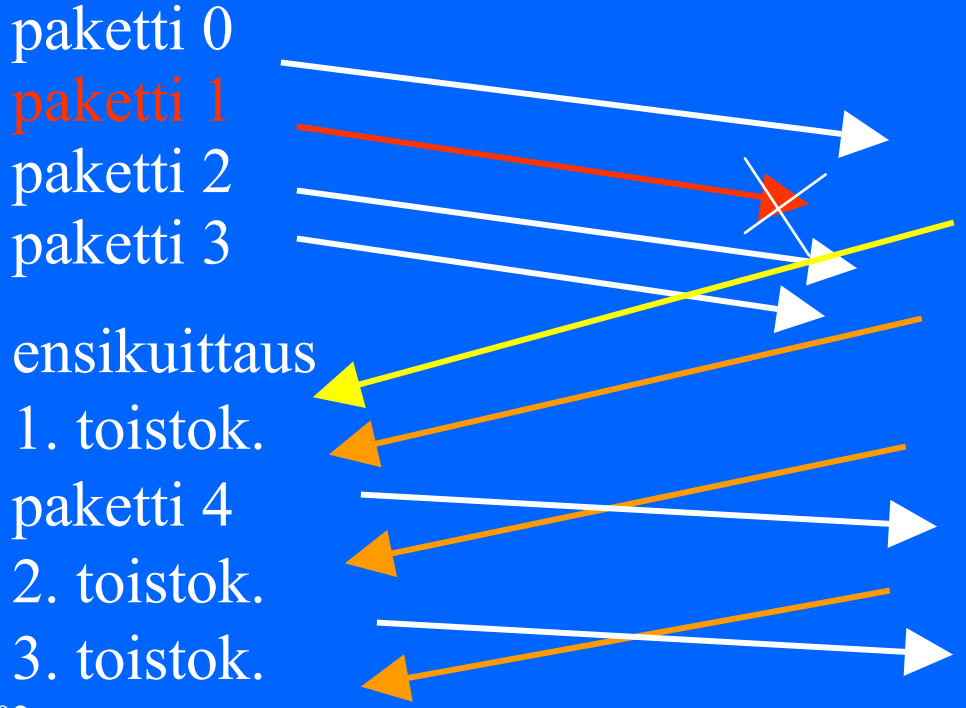
  (Status: PROPOSED STANDARD)

- Lähettäjä ei saa kolmea toistokuittausta =>
  - odotettava aina ajastimen laukeamista ja
  - suoritettava hidas aloitus
  - => hidastaa usein turhaan lähettämistä

Ratkaisu:

- Lähettäjä saa lähettää yhden **uuden paketin** verkkoon vastaanotettuaan **1. ja 2. toistokuittauksen.**
  - » kuittaus kertoo, että verkosta poistettu paketti, joten verkkoon siis mahtuu!
  - » Tilapäisesti ruuhkaikkunan koko ylitetään kahdella MSS:llä
- Kun saman paketin toistokuittauksia tulee kolme, niin suoritetaan nopea uudelleenlähetys ja nopea toipuminen (fast recovery)

- Vaikka ruuhkaikkuna on pieni, niin rajoitetulla lähetyksellä saadaan tarvittaessa syntymään kolme toistokuittausta



Miksi lähetetään uusi paketti?

- Miksi ei heti ensimmäisen toistokuittauksen jälkeen lähetä uudestaan sitä jo lähetettyä kuittaamatonta pakettia?

- Koska ei vielä olla varmoja siitä, että paketti on todella kadonnut.
  - Se voi olla vain viivästynyt
  - tai paketit ovat matkalla joutuneet väärään järjestykseen
- => näin vältetään turhia uudelleenlähetyksiä

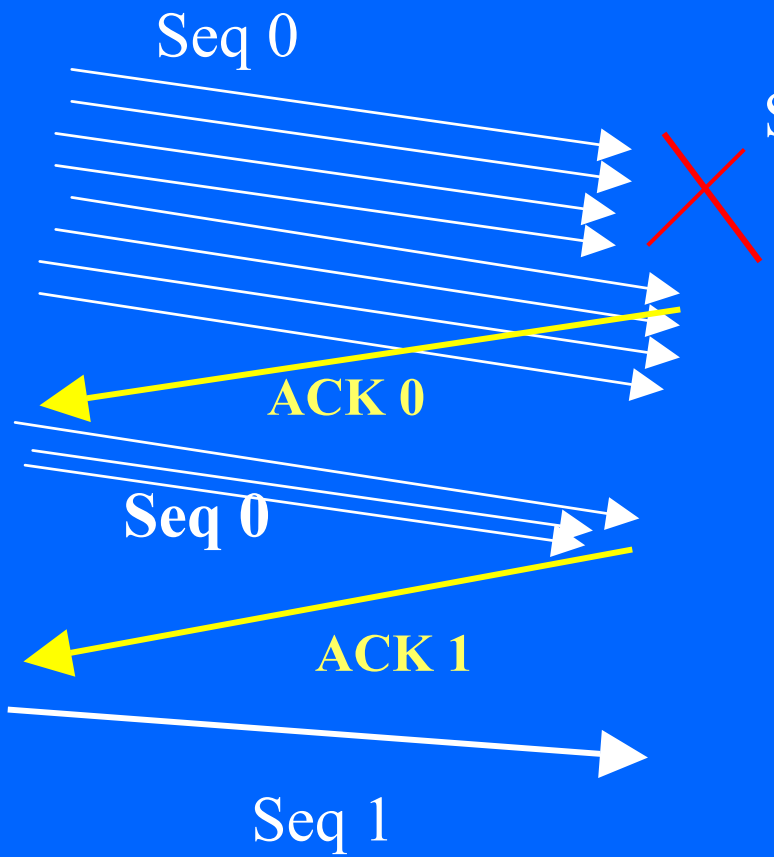
SACK (Selective Acknowledgement)

- RFC 2018
  TCP Selective Acknowledgement Options.
  M. Mathis, J. Mahdavi, S.Floyd, A. Romanow. October 1996.
  (Status: **PROPOSED STANDARD)**

INTERNET DRAFT
Mark Allman, Ethan Blanton. "A Conservative SACK-based Loss Recovery Algorithm for TCP".
(draft-allman-tcp-sack-02.txt), January, 2001

- Valikoivien kuittauksien lisääminen TCP:hen
  - TCP käyttää “Go Back N”-tyyppistä algoritmia ja kumulatiivistä ACK-kuittausta
  - väärässä järjestyksessä saapuneet yleensä talletetaan

Nopea toipuminen ei onnistu!



Joka kierroksella pystytään uudelleenlähettämään vain yksi kadonnut segmentti, koska **kuittaus paljastaa vain seuraavan puuttuvan.**

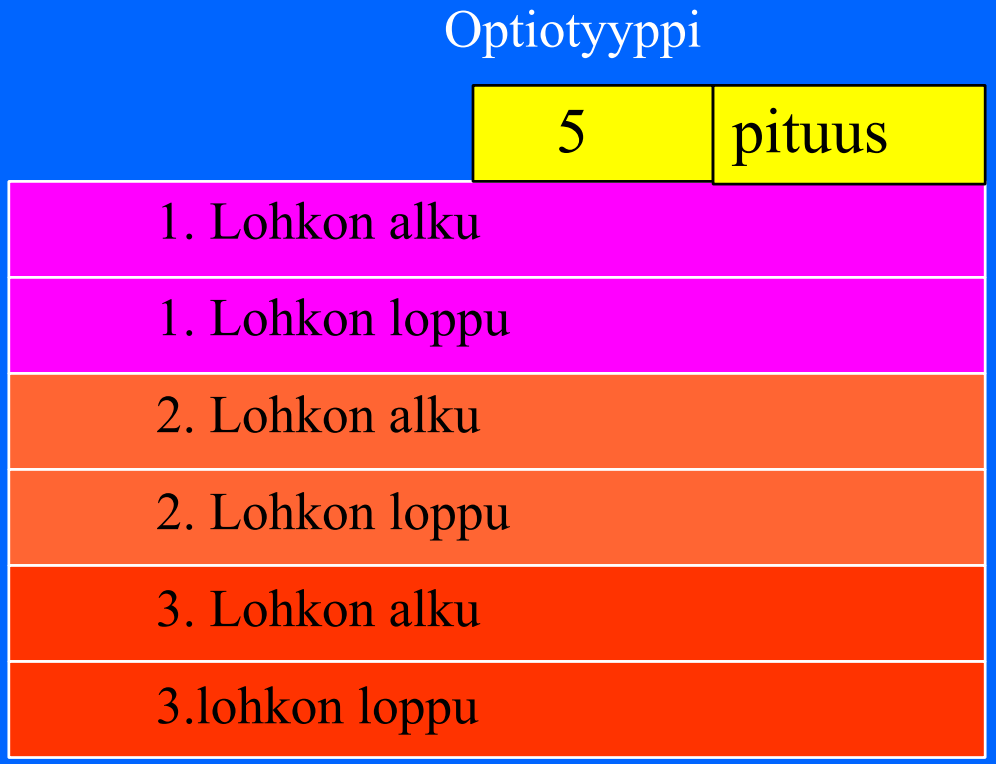
*** jos lähetetään monta uudelleen => voi aiheutua turhia uudelleenlähetyksiä**

- Kumulatiivinen kuittaus paljastaa aina vain yhden puuttuvan kerrallaan
- SACK paljastaa kaikki puuttuvat
  - » ilmoittamalla, mitkä segmenttivälit on jo vastaanotettu
- Esim. Segmentin koko 1000 tavua
  - 1. segmentti katoaa ja muut tulevat perille
    - segmentin 2 kuittaus: ACK 0 , 1000: 1999
    - segmentin 10 kuittaus: ACK 0, 1000: 9999
  - 1. ja 3. segmentti katoavat
    - segmentin 10 kuittaus:
    - ACK 0, 1000:1999 3000:9999

SACK-optiot

- SACK- permitted yhteyden muodostuksessa eli vain SYN-segmentissä ilmoittamaan, että yhteydellä voidaan käyttää SACK-kuittauksia
  - (type = 4, length = 2)
- SACK-optio
  - kuljettaa lisäinformaatiota saapuneista segmenteistä eli kertoo, mitkä ‘tavupätkät’ ovat jo valmiina vastaanottajan puskurissa
  - kuljetetaan TCP-segmentin optio-osassa

TCP:n SACK-optio



4 lohkoa mahtuu yhteen TCP-segmenttiin, jossa optiolle on varattu 40 tavua, jos ei käytetä muita optioita kuten aikaleimaa (timestamp).

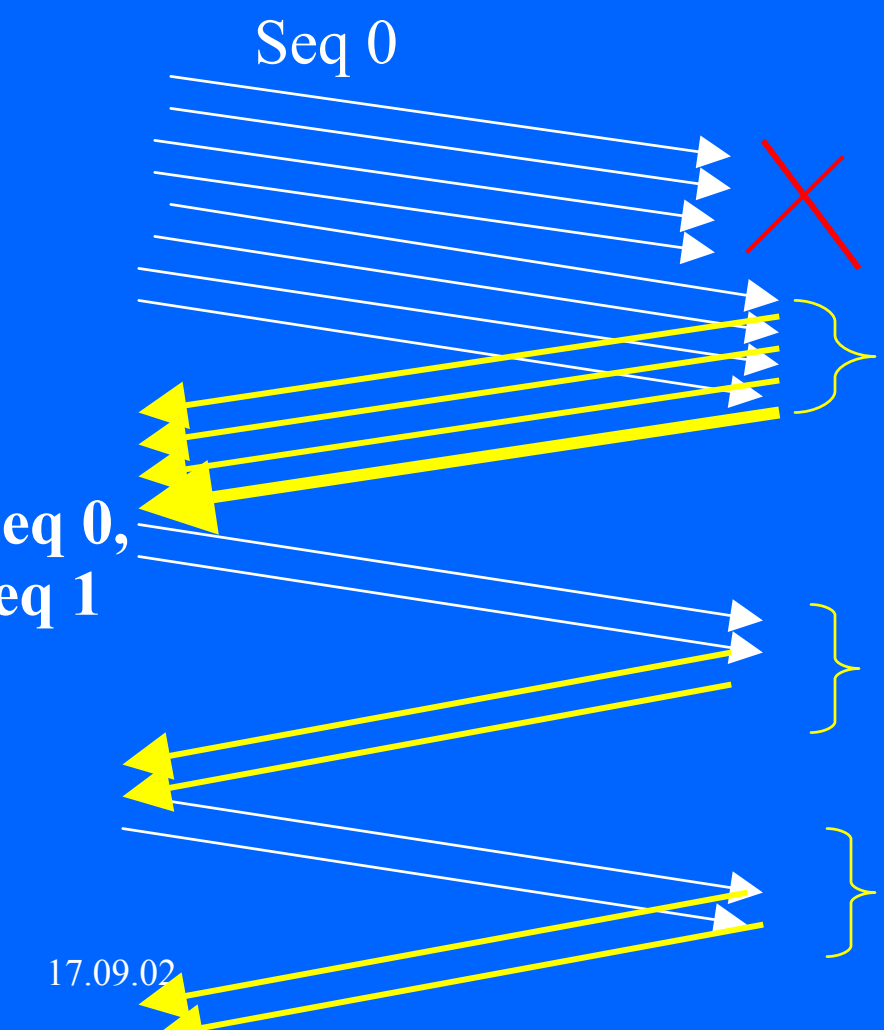
Vain neuvoa-antava!

- Ohjeellista tietoa lähettäjälle
  - vastaanottaja voi tarvittaessa poistaa SACK-optiossa ilmoittamiaan tavuja puskureistaan
- Jos vastaanottaja käyttää SACK-optiota, niin sitä on käytettävä aina kun vastaanottajalla on puskureissaan epäjärjestyksessä olevaa dataa
  - tällöin kaikissa ACK:ssa on oltava ajantasalla oleva tieto siitä, mitkä tavut on jo puskureissa

Toipuminen SACK:n avulla

0 1 2 3 4 5 6 7

S S S S



ACK 0, SACK 400-499

ACK 0, SACK 400-599

ACK 0, SACK 400-699

ACK 0, SACK 400-799

ACK 1, SACK 0-99, 400-799

ACK 2, SACK 0-199, 400-799

ACK 3, SACK 0-299, 400-799

ACK 8, SACK 0-799

Ruuhkanhallinta SACK:ia käytettäessä

- Noudatettava käytettyä ruuhkanhallinta-algoritmia
  - ei uudelleenlähetystä heti 1. puuttuvan jälkeen
  - rajoitettu lähetys puuttuvan jälkeen
    - » toimitaan ruuhkatilanteen mukaan
      - hidas aloitus: 1 tai 2 segmenttiä ensin, kun niihin kuittaus sitten kaksinkertaistetaan lähetys jne
      - nopea toipuminen: yksi segmentti, jokaisesta kuittauksesta ja ruuhkaikkunan puolitus
  - jos ajastin laukeaa, niin kerätty SACK-tieto ei ole enää voimassa

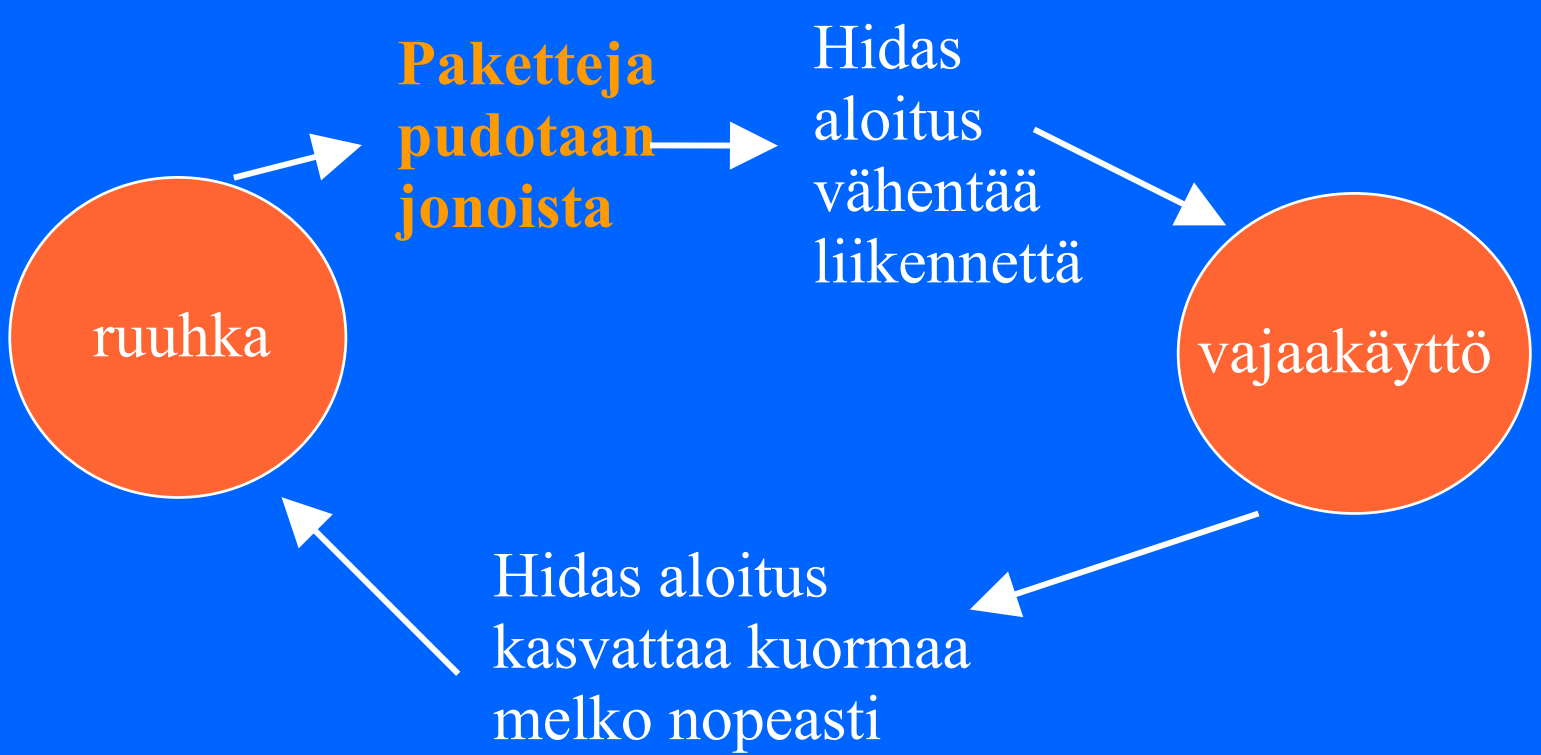
RED (Random Early Detection)

- Aktiivinen, ennaltaehkäisevä puskurijonon hallinta parantaa TCP:n suorituskykyä
  - proaktiivinen <=> reaktiivinen
- Ongelma:
  - Kun ruuhka on syntymässä, puskurien jonot kasvavat ja lopulta puskurit täyttyvät ja paketteja joudutaan hävittämään
    - » yleensä ‘pudotetaan’ viimeksi saapuvat paketit
      - tail-drop
  - tässä vaiheessa usein poistetaan paljon paketteja monelta lähettäjältä

Globaalin tahdistuksen ongelma (Global Synchronization)

- Samanaikaisesti usean TCP-lähetyksen uudelleenlähetysajastin laukeaa ja useat TCP:t vähentävät hyvin voimakkaasti lähettämistään hitaan aloituksen takia.
- => verkon vajaakäyttöisyys
- lähettäjät kasvattavat lähettämistään hitaassa ajoituksessa melko nopeasti ja jossain määrin samassa tahdissa
- => ruuhka verkossa

Verkon suorituskyky on huono!



Oskilloidaan koko ajan ruuhkan ja vajaakäytön välillä eikä yhteyksillä saavuteta tasaista kuittauksien tahdistamaa ‘lähetysputkea’.

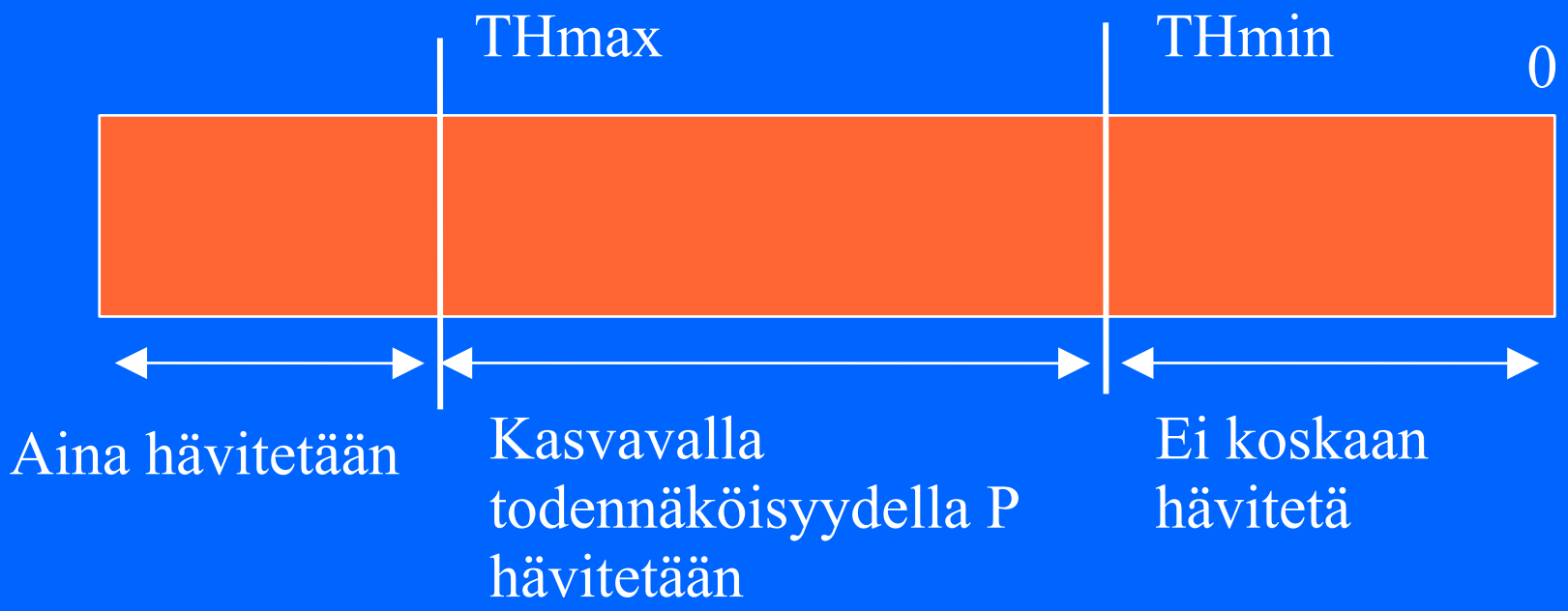
Tehokkaampi puskurijonojen hallinta

- Puskureiden koon kasvattaminen ei ratkaise ongelmaa.
  - Miksi ei?
- Pitää ennakoida ruuhkatilanteen kehittyminen ja reagoida siihen ennenkuin tilanne tulee niin pahaksi, että joudutaan poistamaan paljon paketteja samalla kertaa.
- => Aktiivinen puskurijonon hallinta => RED

Miten RED toimii?

- Jonon pituutta tarkkaillaan koko ajan
  - aina kun jonoon tulee paketti, niin
    - » jos jonon pituus < minimi kynnyspituus, paketti laitetaan jonoon
    - » jos jononpituus >= maksimi kynnyspituus, paketti hävitetään
    - » jos jonon pituus minimi ja maksimi kynnysarvojen välissä, niin todennäköisyydellä P paketti hävitetään ja todennäköisyydellä 1-P laitetaan jonoon
    - » hävittämistodennäköisyys kasvaa, kun jononpituus kasvaa

Jonon pituuden vaikutus



RED-puskuri

- Pyritään pitämään jonon pituus koko ajan annetuissa rajoissa hävittämällä paketteja kun jonon pituus kasvaa
  - eli voi tulla ruuhka
- Hävittämistodennäköisyys kasvaa, kun jono kasvaa.
- Hävittämistodennäköisyys kasvaa, kun paketteja ei ole hävitetty

Kun paketti saapuu FIFO-tyyppiseen ulostulojonoon:

- Lasketaan keskimääräinen jononpituus painotettuna keskiarvona aikaisemmista jononpituuksista
- avg <- (1-wq)*avg + wq* q
- jos jonon pituus q = 0
  - m<- f(time - q_time)

    avg<- (1-wq)**m * avg

    arvioidaan, kuinka monta pikkupakettia (= m) olisi voitu siirtää sinä aikana, jonka jono on ollut tyhjänä
- wq ~ 0.002 => avq reagoi hitaasti jonon pituuden muutoksiin

Hävittämistodennäköisyyden laskeminen

- Jos jononpituus avq on välillä Thmin ja Thmax, on laskettava hävittämistodennäköisyys P
- mitä pitempi jono, sitä suurempi P
  - Pb = Pmax (avq-THmin)/(Thmax-Thmin)

- Suositus Pmax = 0.02=> kun agv=1/2(THmax-THmin), niin 2 pakettia sadasta hävitetään.

- Lisäksi pyritään tekemään hylkäämiset tasavälein
  - estämään hylkäysryöpyt

- mitä pitempään ei ole hylätty yhtään, sitä suurempi hylkäystodennäköisyys
  - avg:n ollessa Thminin ja Thmaxin välissä muuttuja **count** laskee peräkkäisiä hylkäämättömiä paketteja
  - Pa <- Pb /(1-count*Pb)
  - Pa = hylkäämiskriteerinä käytetty todennäköisyys (P)

- ruuhkan estämiseen
- erityisesti globaalin tahdistumisen estämiseen
- ryöppyisen liikenteen sorsiminen estämiseen
  - » liikenneryöpyt usein ruuhkan syy
  - » ryöppyisen liikenteen lähteet joutuvat kokemaan pakettien hylkäämistä tasaisen liikenteen lähteitä enemmän
- rajoittaa keskimääräistä jononpituutta => rajoittaa keskimääräistä viivettä

ECN (Explicit Congestion Notification)

- **The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP,**
  K. K. Ramakrishnan, Sally Floyd, D. Black.
  (draft-ietf-tsvwg-ecn-01.txt), January 2001.
  (STATUS: INTERNET DRAFT)

- **TCP and Explicit Congestion Notification.**
  ACM Computer S. Floyd. , Communications Review, 24, October 1994

Lisäys IP-arkkitehtuuriin!

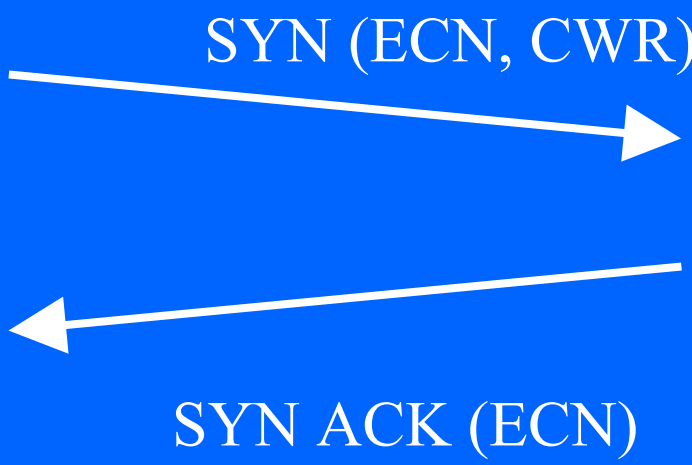
- Käyttöön 2 bittiä, joita käytetään ruuhkasta ilmoittamiseen
  - CE-bitti (Congestion Experienced)
    - » reititin asettaa, kun on havainnut ruuhkaa
    - » esim. kun RED-algoritmin jononpituus indikoi ruuhkaa
  - ECT-bitti (ECN Capable Transport)
    - » kertoo, että kuljetuskerros kykenee käsittelemään ruuhkailmoituksia (Explixit Congestion Notification)
  - IPv4: TOS-kentän bitit 7 ja 6 ehdotettu
  - IPv6: Traffic Class -kentän bitit 7 ja 6 ehdotettu

Muutoksia TCP-hen

- Sovittava vastapuolen kanssa ECN:n käytöstä
- osattava reagoida CE-bitin asetukseen
  - vastaanottajan ilmoitettava lähettäjälle
    - » ECN Echo -lippu
  - lähettäjän vähennettävä lähetystään samalla tavalla kuin jos paketti olisi todella kadonnut
  - lähettäjän ilmoittava vastaanottajalle, että on vähentynyt jo lähettämistään
    - » Congestion Window Reduced (CWR) -lippu

Yhteydenmuodostus

- Yhteyden muodostusvaiheessa sovitaan ECN:n käytöstä käyttäen ECN Echo -lippua (bitti 9 TCP-otsakkeen varattu-kentässä)



- Kun käytöstä on sovittu, lähetettyjen IP-pakettien ECT-kenttä on asetettu
  - » jos ei ole asetettu, ei vastaanottajan tule reagoida
- kun vastaanottaja saa ruuhkasta ilmoittavan IP-paketin, sen tulee kuittauksessa asettaa ECN Echo -bitti
- CE-bittejä asetetaan kuittauksiin niin kauan, kunnes saadaan paketti, jossa CWR-bitti on asetettu

- Kun lähettäjä saa kuittauksen, jossa ECN Echo -bitti on asetettu, niin sen tulee
  - puolittaa ruuhkaikkuna
  - pienentää hitaan aloituksen lopettamisen kynnysarvoa
- toiminta sama kuin paketin kadotessa
- vähennys korkeintaan kerran yhden kiertoviiveen aikana

NewReno

- RFC 2581: **TCP Congestion Control**

  M. Allman, V. Paxson, W. Stevens

  April 1999 (Obsoletes RFC 2001)

  (Status: PROPOSED STANDARD)

- RFC 2582: **The NewReno Modification to TCP's Fast Recovery Algorithm**

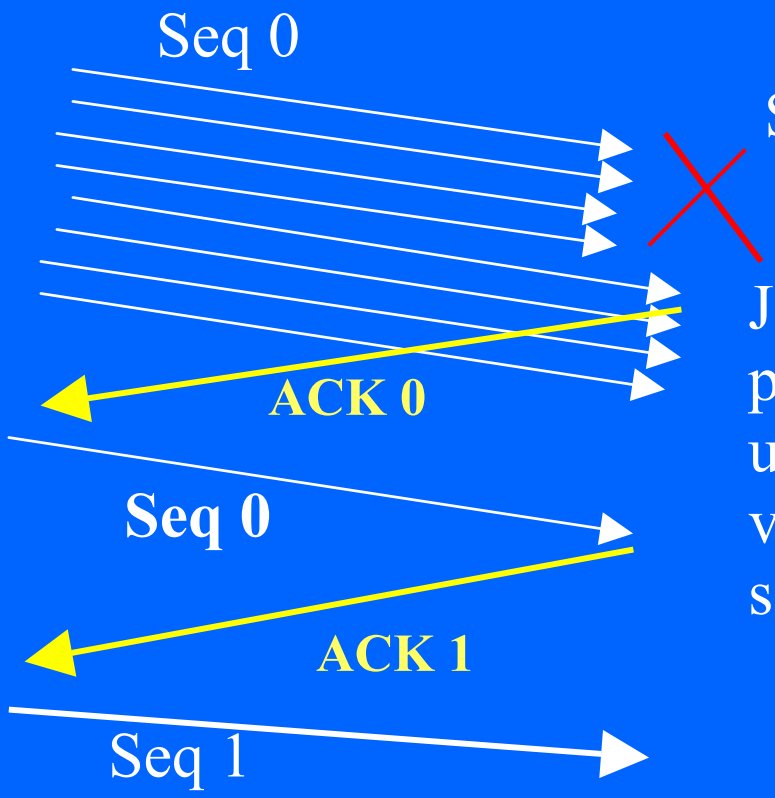
  S. Floyd, T. Henderson, April 1999

  (Status: EXPERIMENTAL)

Nopea toipuminen (Fast Recovery)

- Toteutettiin ensimmäisen kerran 1990 Reno-versioon
- Ei toimi hyvin, jos useita paketteja katoaa
  - tarvitaan kiertoaika jokaista kadonnutta pakettia kohden
- eräs ratkaisu on SACK-optio
  - kuittauksessa ilmoitetaan, mitkä saatu kunnolla ja mitkä vielä puuttuvat

- Kun useita segmenttejä katoaa ‘samasta ikkunasta’



Segmentit häviävät

Joka kierroksella pystytään uudelleenlähettämään vain yksi kadonnut segmentti!!

NewReno -ratkaisu

- Kun saadaan kolmas toistokuittaus, niin
  - asetetaan kynnysarvo ssthresh = max (FlightSize / 2, 2*MSS)
  - ja talletetaan viimeksi lähetetty järjestysnumero muuttujaan “recover”
  - Lähetetään puuttuva segmentti ja asetetaan ruuhkaikkunan arvoksi

    cwnd to= ssthresh + 3*MSS
  - kaikki vielä tulevat toistokuittaukset kasvattavat ruuhkaikkunaa yhdellä MSS:lla

- Lähetetään segmentti
  - mikäli ruuhkaikkuna ja vastaanottajan ikkuna tämän sallii
- Kun segmenttiin saadaan kuittaus,
  - se joko kuittaa kaikki recover -.muuttujan ilmoittamaan arvoon asti => toipuminen suoritettu loppuun
  - tai kuittaus on johonkin aikaisempaan järjestysnumeroon
    - » osittainen kuittaus (partial ACK)

Kun tulee osittainen kuittaus

- Lähetetään uudelleen ensimmäinen kuittaamaton segmentti,
- kasvatetaan ruuhkaikkunaa kuitatuilla ja vähennetään siitä juuri lähetetty
- lähetetään uusia segmentteja, jos ruuhkaikkuna ja vastaanottajan ikkuna tämän sallii
- ja jatketaan toipumisvaihetta

Eri versioita

- Pitäisikö kuitenkin uudelleenlähettää kerralla useampi kuin yksi?
- Miten ajastin tulisi parhaiten asettaa kun uudelleenlähetetään segmentti?
- Yms.
- Nyt ollaan jo melko kaukana itse standardista. Nämä ovat yhä avoimia tutkimuskysymyksiä!

Uudelleenlähetysajastin

- RFC 2988: **Computing TCP's Retransmission Timer.**

  V. Paxson, M. Allman.

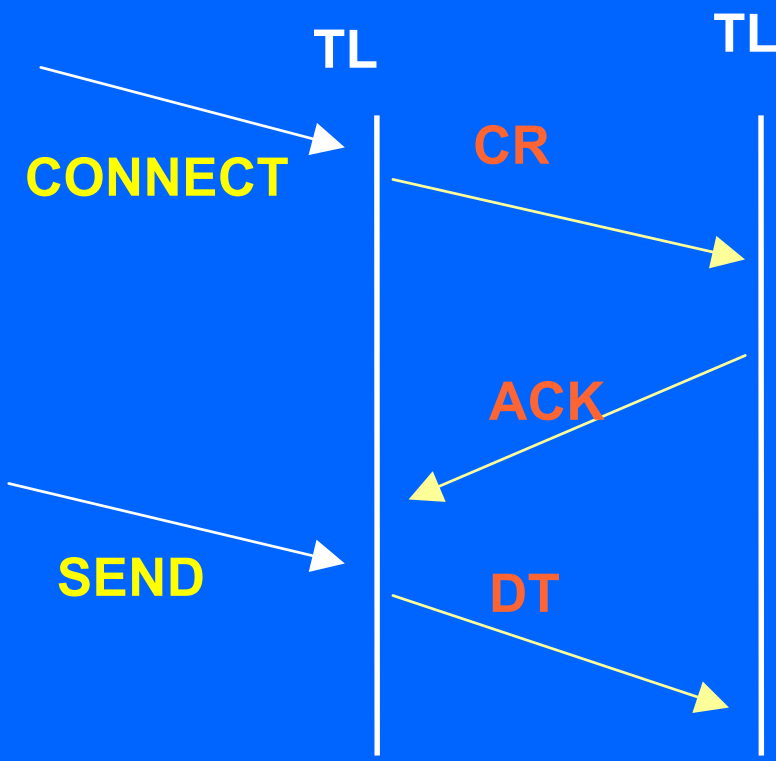
  November 2000

  (Status: PROPOSED STANDARD)

Yhteyden muodostus

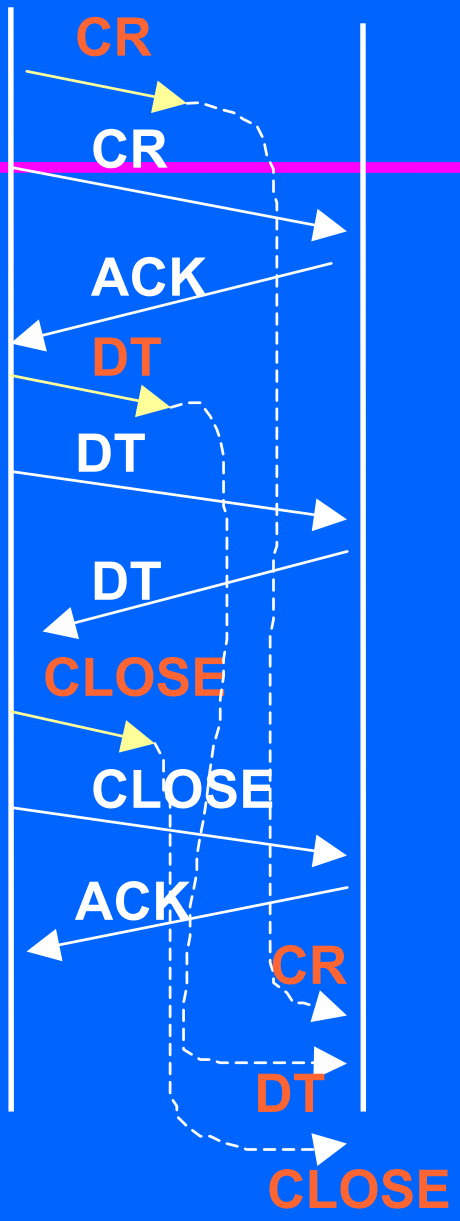
- perusmalli hyvin yksinkertainen
- ongelmana viivästetyneet kaksoiskappaleet
  - » esim. yhteys pankkiin laskun maksamiseksi
  - » lasku maksetaan useaan kertaan
- =>yksikäsitteisen yhteyden muodostaminen vaikeaa

Yhteydenmuodostus: perusmalli



Hyvin yksinkertaista!

Yhteyden muodostus ruuhkaisessa verkossa



Jokainen paketti lähetetään kahteen kertaan

Kun yhteys on purettu, viivästyneet kaksoiskappaleet saapuvat

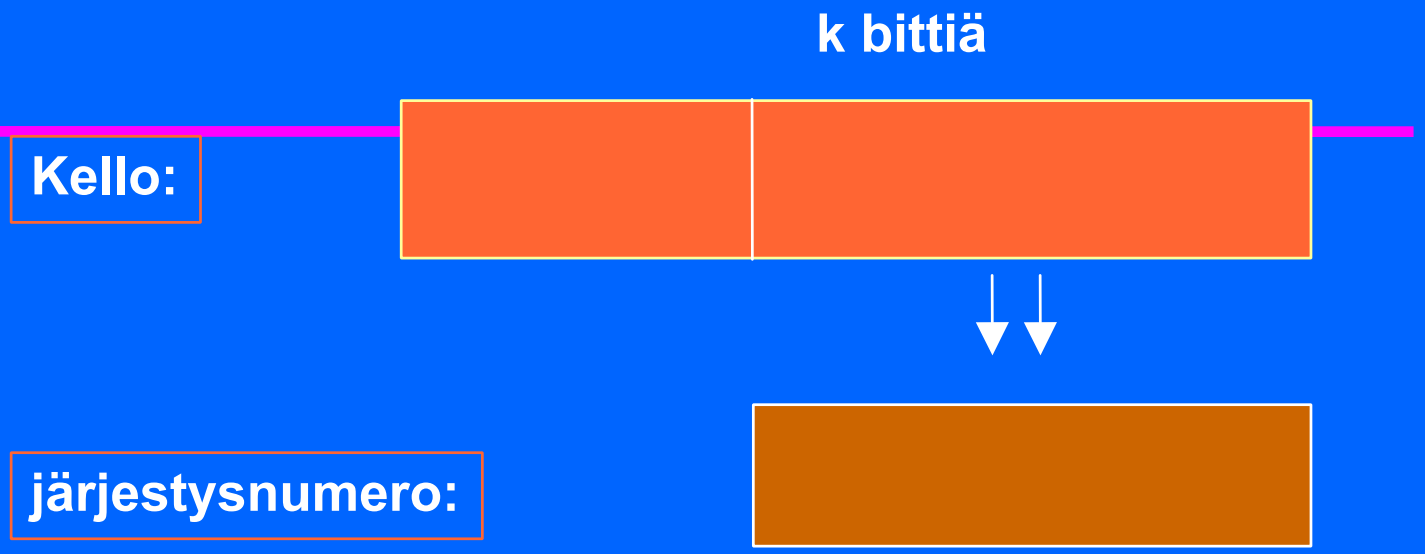
Ne tulkitaan uudeksi yhteydeksi, ja data otetaan vastaan kahteen kertaan!

Ongelman ratkaisuehdotuksia:

- kertakäyttöiset kuljetusosoitteet
  - » nimipalvelu?
- yhteystunnus jokaiselle yhteydelle
  - yhteyden purkamisen jälkeen sen TPDU:t epäkelpoja
    - » lista epäkelvoista yhteystunnuksista
  - kuinka kauan historiatietoja säilytettävä?
  - entä jos kone kaatuu ja unohtaa tietonsa?
- **rajallinen elinikä paketeille**
  - » elinaikalaskuri, hyppylaskuri

Tomlinsonin menetelmä

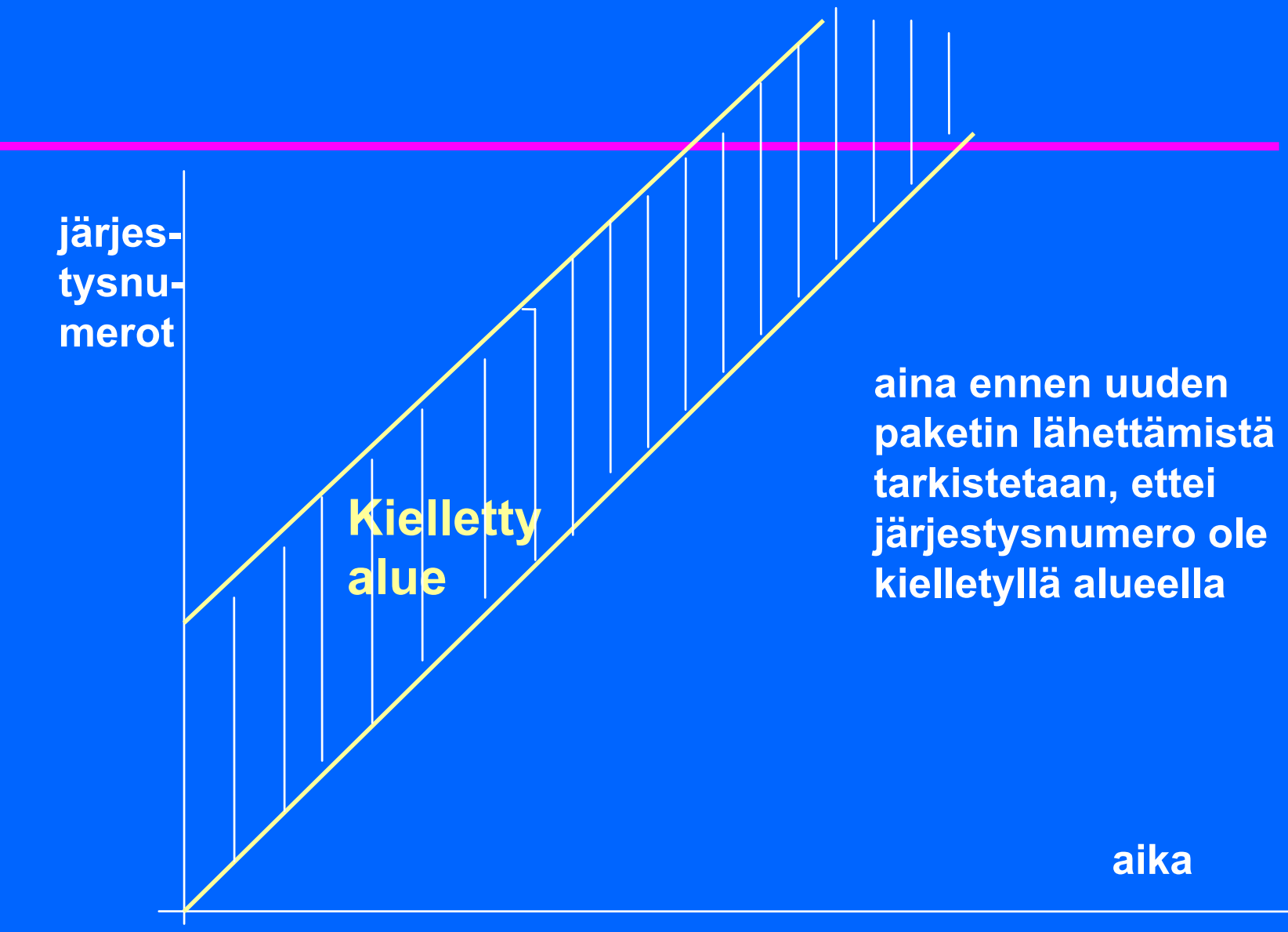
- koneessa vikasietoinen kello
  - » etenevä laskuri
  - » vaikka kone kaatuu, laskuri toimii
- yhteyttä muodostettaessa
  - » kellon bitit ilmoittavat numeroinnin aloituskohdan
  - » bittejä riittävästi (32 bittiä)
    - jotta uudelleen käyttöön vasta riittävän pitkän ajan päästä
    - vanhoilla numeroilla varustetut segmentit ehtivät hävitä
- yhteydellä ei koskaan kahta saman numeroista segmenttiä



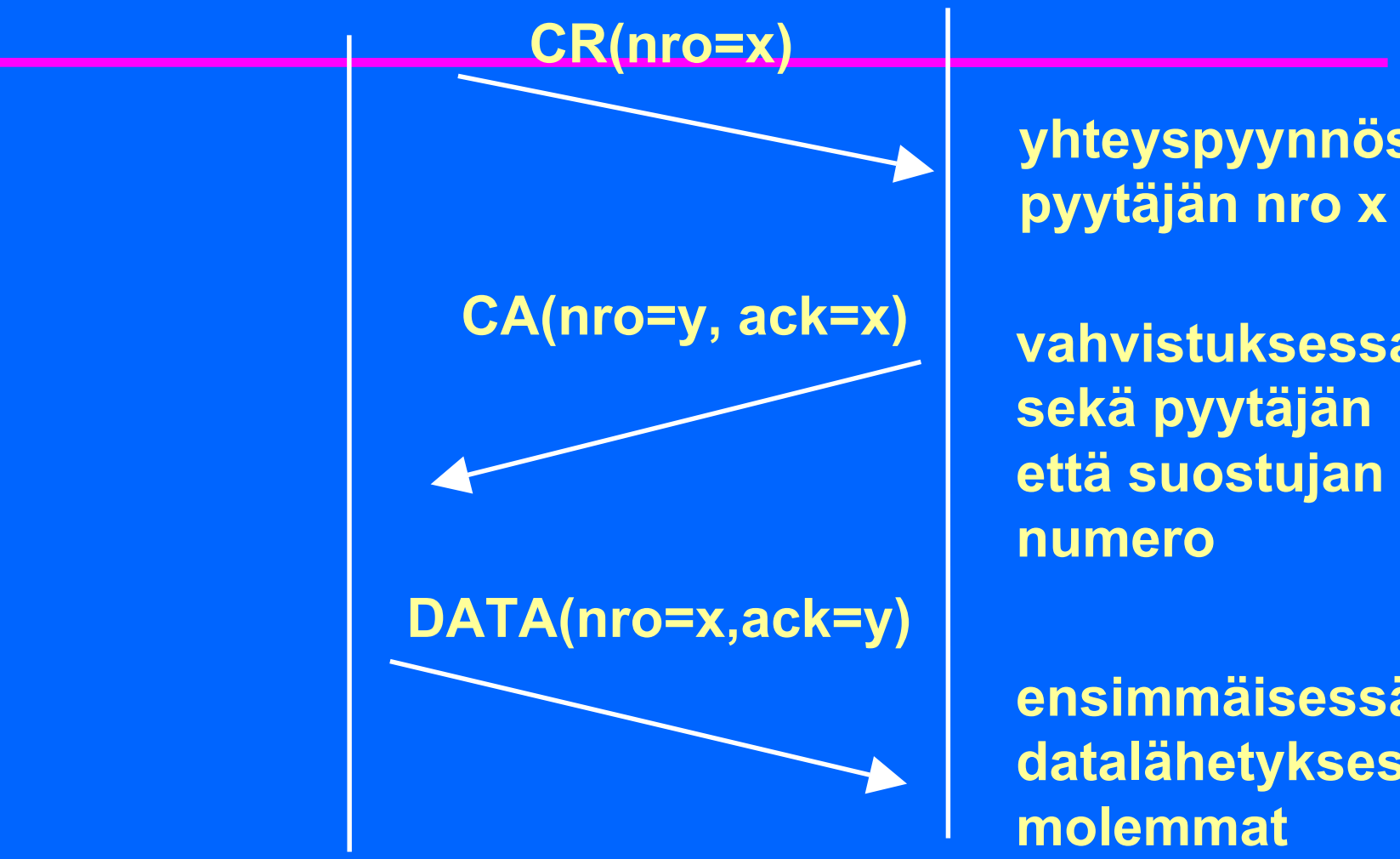
Eri yhteyksillä numerointi aloitetaan eri kohdasta

- Kun kone kaatuu
  - » se kadottaa tiedon viimeksi käytetystä järjestysnumerosta
  - » uusi numero ei saa olla sama kuin jonkun vielä elossa olevan TPDU:n

- Miten selvitään tilanteesta?
  - odotetaan T aikayksikköä
    - » kaikki aikaisemmat TPDU:t varmasti kadonneet ja voidaan aloittaa, mistä numerosta tahansa
    - » entä, jos T on pitkä
  - ‘kielletyn alueen’ (forbidden region) käyttö
    - » ei oteta käyttöön numeroita, joiden duplikaatit voivat olla vielä elossa


järjes-
tysnu-
merot
Kielletty
alue
aina ennen uuden
paketin lähettämistä
tarkistetaan, ettei
järjestysnumero ole
kielletyllä alueella
aika

Kolminkertainen kättely

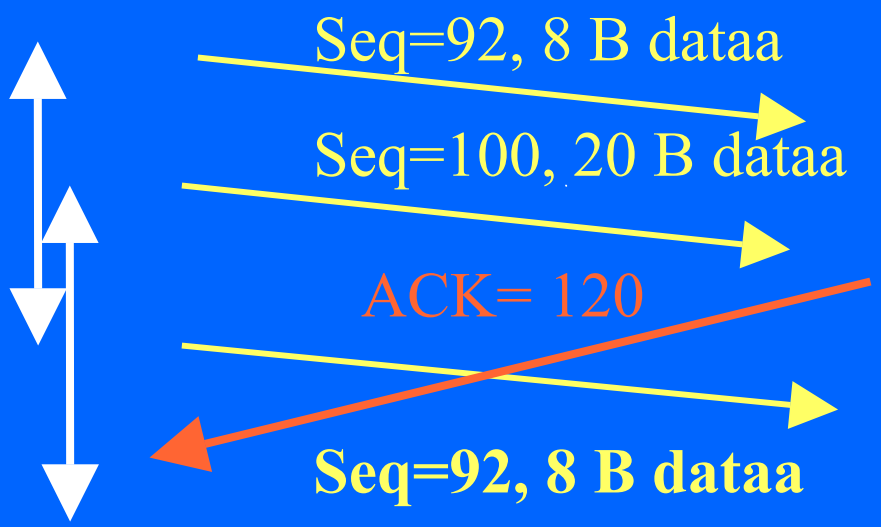


Kuittaukset TCP:ssä

- TCP käyttää kumulatiivista kuittausta
  - kuittaus varmistaa lähettäjälle, että kaikki segmentit kuitattuun segmenttiin saakka ovat saapuneet kunnolla perille
  - väärässä järjestyksessä saapuneita segmenttejä ei kuitata
  - ei käytetä NAK-kuittausta
  - “duplicate ACK” = virhetilanteissa lähetetään uudelleen kuittaus samasta jo kuitatusta segmentistä

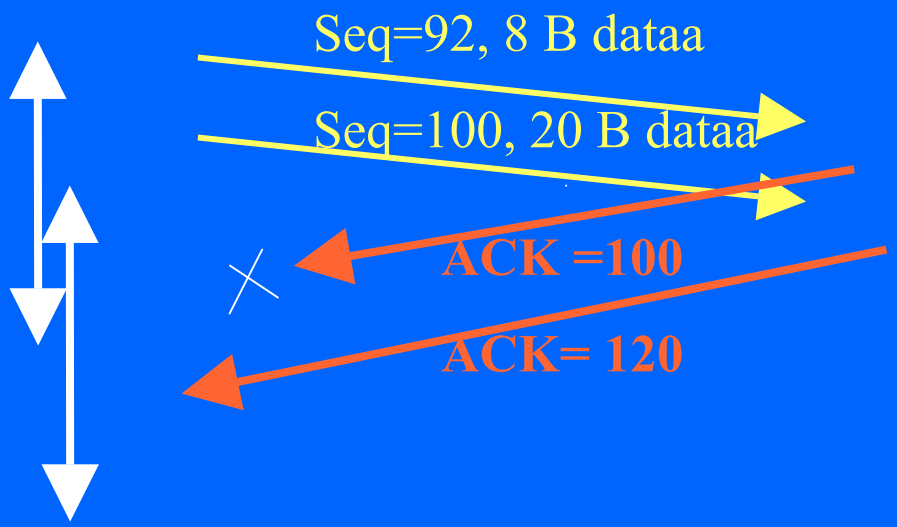
Uudelleenlähettäminen

- TCP lähettää segmentin uudestaan, kun ajastin laukeaa
  - TCP ei automaattisesti lähetä kaikkia puuttuvan segmentin jälkeisiä segmenttejä uudelleen



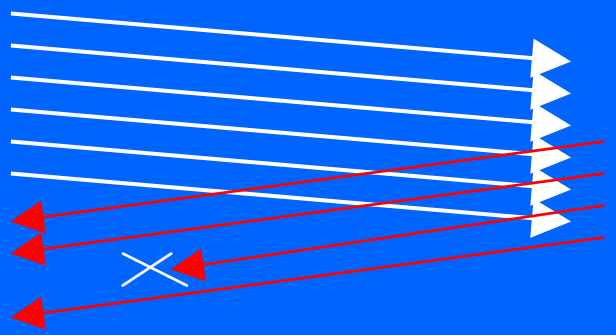
Vain osin “Go-Back -N -tyyppinen”

- Oletetaan, että segmentit 1-N tulevat oikein perille ja kuittaus esim. segmenttiin 1 katoaa. Jos muut kuittaukset tulevat perille, enintään yksi segmentti 1 uudelleenlähetetään.
  - Eikä sitäkään tarvitse lähettää, jos seuraava kuittaus tulee ennen ajastimen laukeamista



Kuittaukset voivat kadota

- Erilliset kuittaukset eli pelkät ACK:it eivät sisällä yhtään tavua dataa, joten niitä ei numeroida eikä kuitata.
  - Kuittauksia voi helposti hävitä



Kumulatiivisissa kuittauksissa seuraava kuittaus paikkaa hävinneen informaation