Ruuhkanvalvonta on hankalaa!

- Sitä varten on koko ajan kehitetty yhä parempia menetelmiä
  - uudelleenlähetysajastimen arvo
    - » RTT:n varianssin arviointi
    - » Karnin algoritmi
    - » exponential retransmission timer backoff
  - lähetysikkunan hallinta
    - » slow start
    - » congestion avoidance
    - » fast retransmit
    - » fast recovery

Lähetettynä voi olla vain rajallinen määrä kuittaamatonta dataa (‘Flight size’)

- vastaanottoikkuna (receiver window, **rwnd**)
  - vastaanottaja ilmoittaa lähettämiensä segmenttien ikkunakentässä
  - vastaanottaja voi vapaasti kasvattaa tai pienentää
  - vuonvalvontaa varten
- ruuhkaikkuna (congestion window, **cwnd)**
  - lähettäjä saa korkeintaan lähettää verkkoon , jotta verkko ei tukkeutuisi
  - ruuhkanhallintaa varten
- **min(rwnd, cwnd)** rajoittaa lähettämistä

Ruuhkaikkunan arvo eri tilanteissa

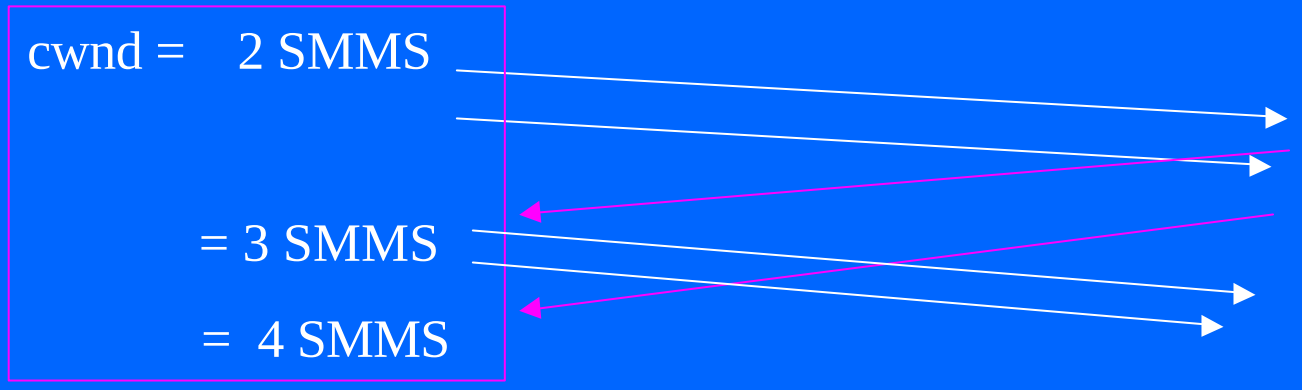
- initial window (IW)
  - » ruuhkaikkunan arvo heti kolminkertaisen kättelyn jälkeen
    - korkeintaan kaksi segmenttiä tai 2* suurin määrä tavuja, jonka lähettäjä voi kerralla lähettää (SMSS)
- loss window (LW)
  - » ikkunan arvo, kun TCP on havainnut , uudelleenlähetysajastimen lauettua, segmentin kadonneeksi
- restart window (RW)
  - » kun lähetys käynnistetään uudelleen joutilaana olon jälkeen

SMMS (sender Maximum Segment Size)

- Suurin segmentti, jonka lähettäjä saa lähettää
  - ilman otsake- ja optiotavuja
    - » pelkästään datatavut mukana
  - voi olla verkon rajoitus, reitin rajoitus, vastaanottajan yhteydenmuodostuksessa ilmoittama rajoitus tai oletusarvoinen pienin segmentin maksimikoko (=536 tavua dataa)

Slow start

- Hitaan aloituksen aikana
  - Ruuhkaikkunaa cwnd kasvatetaan korkeintaan maksimilähetysmäärällä (SMSS) jokaista uutta dataa kuittaavaa ACKia kohden



Limited Transmit

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

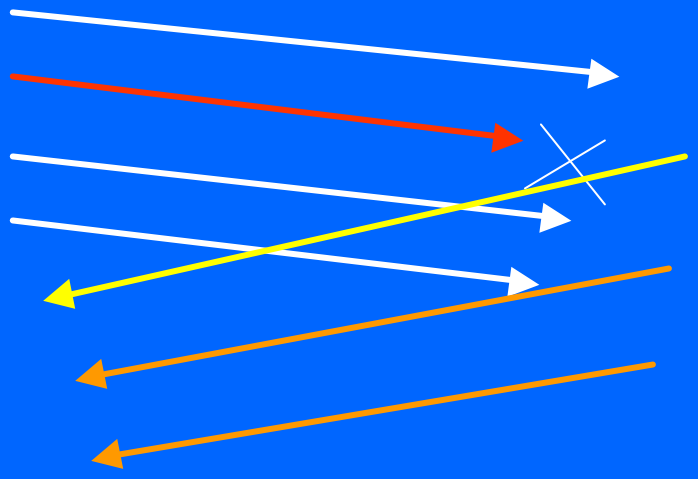
  M. Allman, H. Balakrishnan, S. Floyd. January 2001

  (Status: PROPOSED STANDARD)

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

Lähettäjä ei saa kuittauksia,

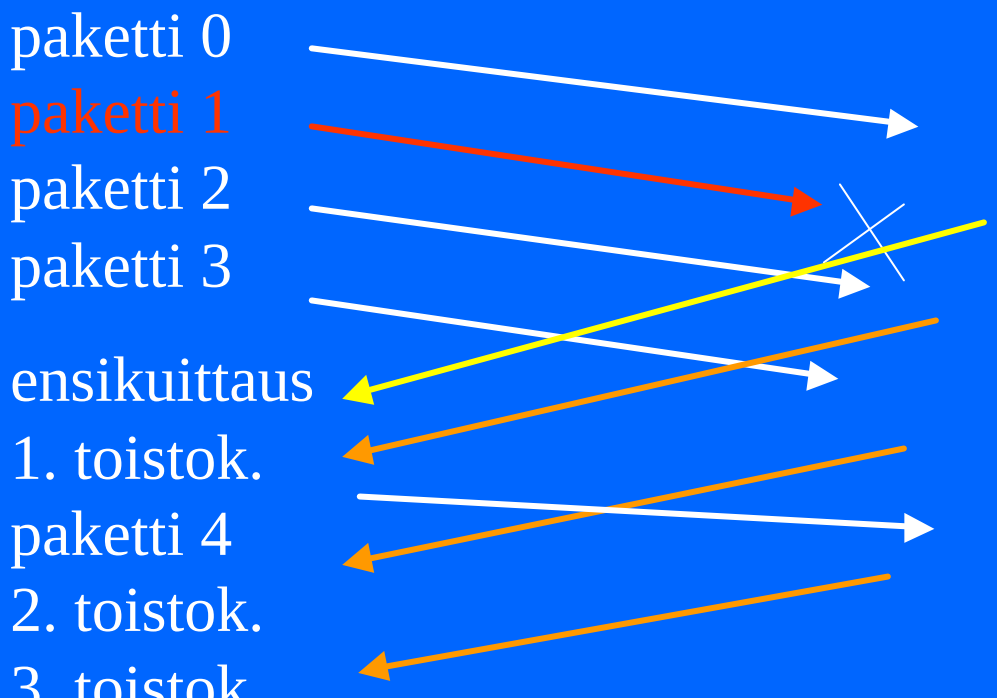
- Jos ruuhkaikkuna on hyvin pieni,
  - ei voi tulla kolmea toistokuittausta, jos ruuhkaikkuna sallii vain neljä kuittaamatonta lähetystä



Ratkaisu:

- Kun lähettäjä saa toistokuittauksen, se saa aina lähettää yhden **uuden paketin** verkkoon
  - » kuittaus kertoo, että verkosta poistettu paketti, joten verkkoon siis mahtuu!
- Kun saman paketin toistokuittauksia tulee kolme, niin suoritetaan nopea uudeelleenlähetys 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

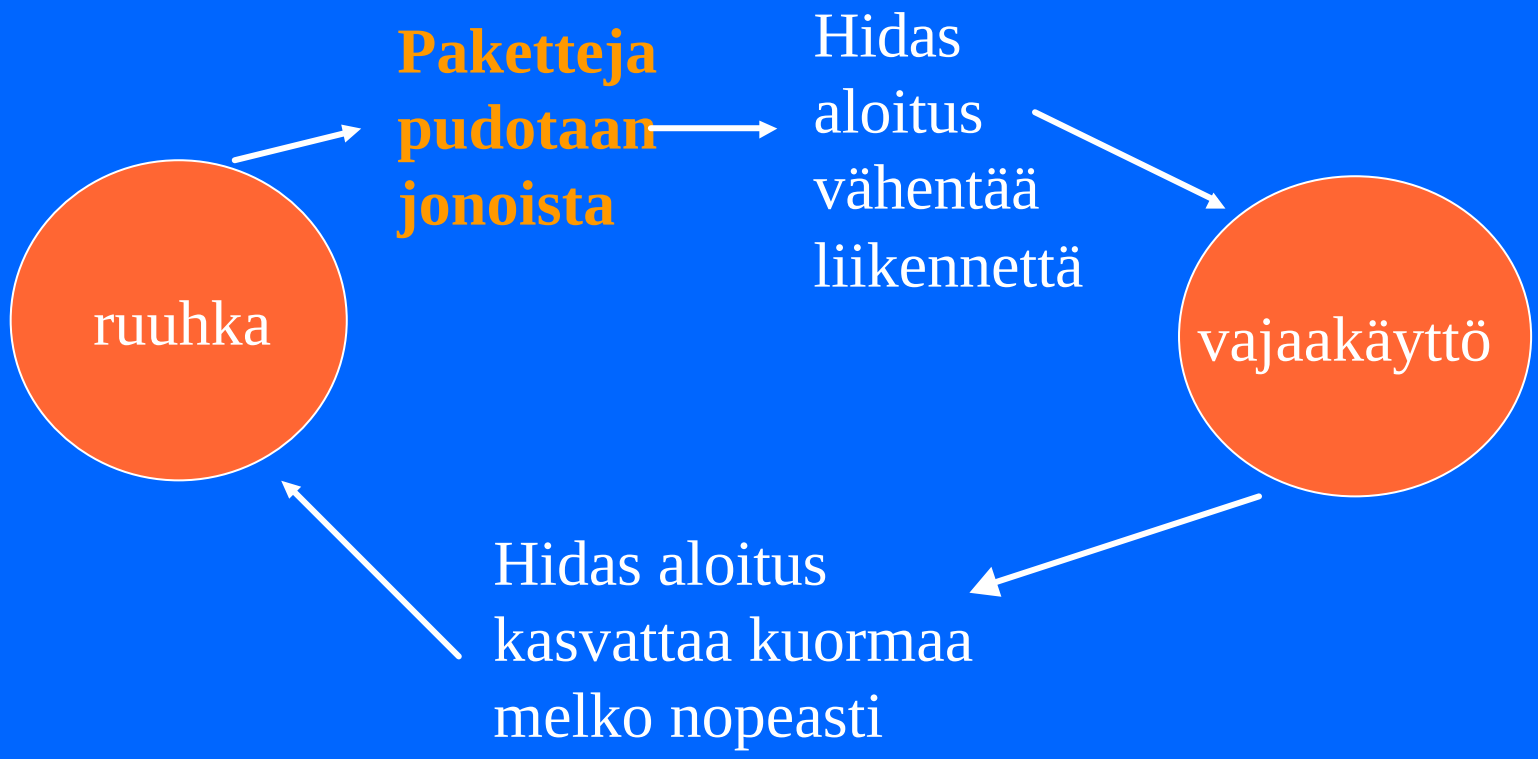
RED (Random Early Detection)

- 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’.

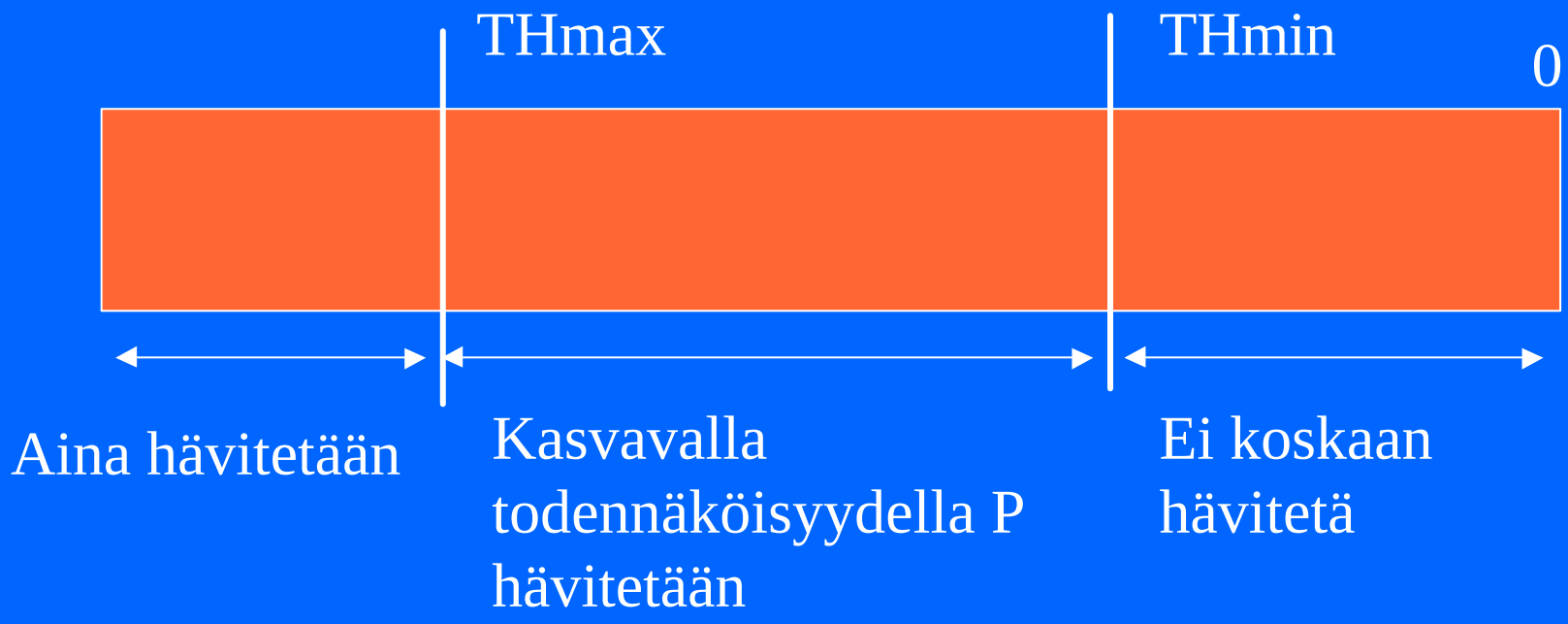
Tehokkaampi puskurijonojen hallinta

- Puskureiden koon kasvattaminen ei ratkaise ongelmaa.
  - Miksi ei?
- Pitää ennakoida ruuhkatilanteen kehittyminen ja reagoida siihen ennenkuin tilanne ehtii 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)

THmax avg 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**

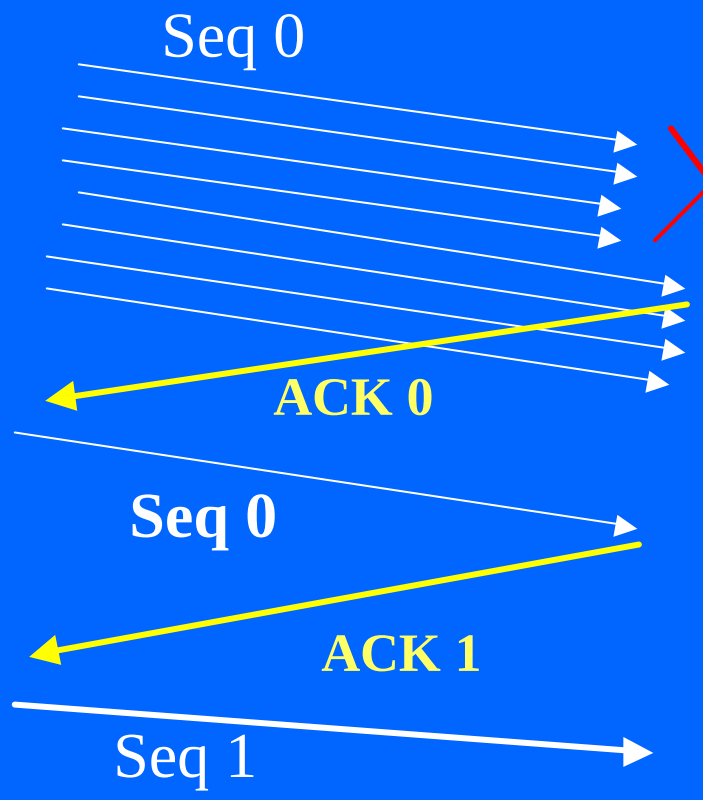
  S. Floyd, T. Henderson, April 1999

  (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 hävivät

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 tänän sallii
- ja jatketaan toipumisvaihetta

Eri versioita

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