Tietoliikenne II (2 ov)

Syksy 2003
Liisa Marttinen

- Kurssikirja: Kurose & Ross, Computer Networking (2. edition)
  - (kyllä 1. painoskin kelpaa, mutta siitä puuttuu mm. mobiiliverkot kokonaan)
- Lisämateriaalia: Aiheeseen liittyviä RFC:itä

Tietoliikenne II

Täydennystä Tietoliikenne I -kurssin asioihin
- perusteellisemmin
- laajemmin
- 'teoreettisemmin'

- TCP: suorituskyky ja uudet piirteet
- reititys, IPv6, IPSec, MobileIP, monilähetys
- WLAN, atm, fddi, SONET, fyysinen kerros
- Internetin QoS

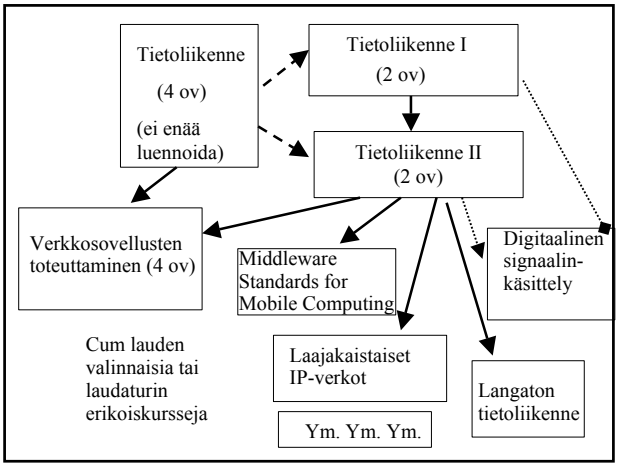
Alustava sisällysluettelo

- 1.TCP:n suorituskyky
  - optiot
  - uudet piirteet ruuhkanvalvonnassa
- 2. IPv6, Ipsec, ICMP, Reititys
  - OSPF, BGP, monilähetysreititys, mobiilireititys
- 3. Gigabit Ethernet, WLAN, atm, FDDI
- 4. Linkkikerroksen ja peruskerroksen asioita
  - SONET, .modeemi
  - Tiedonsiirron teoreettinen perusta (Shannon, Nyquist, ..)

Sisällysluettelo jatkuu

- 5. Internetin palvelun laatu (QoS)
  - integroidut palvelut
  - eriytyneet palvelut
- 6. Turvallisuus
  - Palomuuri (?), PGP (?)

  Tietoturva-asiat keväällä luennoitavalla Tietoturva-kurssilla



Suoritus

- kurssikoe maks. 50 p, min 25 p
  - 6.11. klo 16-20 Porthania
- kurssiaktiivisuus maks. 20 p
  - traditionaaliset harjoitukset => maks. 10 p
  - miniesseet (1-10 sivua) ja -esitelmät (10-15 min), keskusteluaktiivisuus yms. => maks. 10 p
- 30 p => 1-, 51 => 3
- loppukokeella maks. 60 p; tammi - helmikuussa 2004

1. TCP ja suorituskyky

- TCP:n peruspiirteiden toiminta jo tunnettu
  - Tietoliikenne I
- TCP:n lisäpiirteitä
  - Ikkunaskaalaus (Window scaling)
  - Aikaleimaus (time stamping)
  - SACK (Selective Acknowledgement)
  - RED (Random Early Detection)
  - ECN (Explicit Congestion Notification)

TCP-otsakkeen kentät

Source port								Destination port
Sequence number								
Acknowledgement number								
TCP head. length		URG	ACK	PSH	RST	SYN	FIN	Window size
Checksum								Urgent pointer
Options (0 or more 32 bit words)								
Data (optional)								

TCP-optiot

- Optio-kenttä valinnaisia piirteitä varten
  - Option pituus on 40 tavua
    - TCP header length -kenttä = 4 bittiä kertoo otsakkeen pituuden 32 bitin sanoina => 15*4 tavua = 60 tavua
    - 20 tavua vakio-otsaketta => enintään 40 tavua optioita varten

Option tyyppi	Option pituus	Option merkitys
1 tavu	1 tavu	pituus - 2 tavua

TCP:n suorituskykyongelmia

- TCP-protokolla on jo melko vanha (1983) ja viritetty tiettyyn ympäristöön
- nykyisin käytössä hyvin erilaisissa ympäristöissä
  - pitkän viipeen satelliittiyhteyksillä
  - erittäin nopeilla yhteyksillä
  - langattomilla yhteyksillä
- => suorituskykyongelmia

Ongelmia:

- otsakkeen kentät liian pieniä:
  - **järjestysnumero 32 bittiä => 4 294 967 296 tavua**
    - rajoittaa siirtonopeutta erittäin nopeilla yhteyksillä
    - suurin segmentin elinikä (MSL, maximum segment lifetime) alunperin 2 minuuttia = 120 sekuntia
  - **ikkunankoko 16 bittiä => 65536 tavua**
    - rajoittaa siirtonopeutta mm. satelliittiyhteyksillä

MSL (Maximum Segment Lifetime)

- MSL = 2 minuuttia
  - IP-kerroksen elinaikakenttä (time-to-live) rajoittaa
- **Järjetysnumerokenttään mahtuu 4 294 967 296 tavua**
- Esimerkkejä eri verkkojen numeroiden kiertoajasta
  - ARPANET 56 kbps 7 KBps ~ 3.6 päivää
  - Ethernet 10 Mbps 1.25 MBps ~ 3 0 min
  - FDDI 100 Mbps 12.5 MBps ~ 3 min
  - **Gigabit 1 Gbps 125 MBps 17 sec**
- **Nopeissa verkoissa aiheuttaa ongelmia!**

Järjestysnumeroiden uudelleenkäyttö

- Samannumeroinen segmentti voi yhä olla verkossa => se hyväksytään 'uutena'
- Samannumeroinen ACK-kuittaus voi yhä olla verkossa => lukkiutunut tilanne, josta toivutaan vain RST:llä
  - Lähettäjä saa kuittauksen ja siirtyy seuraavaan segmenttiin
  - Vastaanottaja jää odottamaan puuttuvia tavuja ja hylkää muut
  - Ikkuna täyttyy ja lähettäjä alkaa lähettää uudelleen, mutta .....

Kaistan ja kiertoviiveen tulo

(bandwidth * delay product)

TCP:n suorituskyky

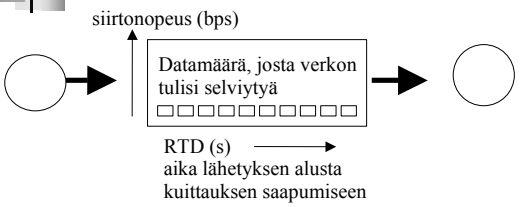
- Riippuu siirtonopeudesta (kaista, bandwidth) ja
- kiertoviiveestä (RTD, round-trip delay, 1 ms - 100 s)

Tulo siirtonopeus * kiertoviive kertoo sen datamäärän, joka TCP:n täytyy pystyä käsittelemään, jotta lähettäjä ja vastaanottaja voisivat toimia täydellä vauhdilla

- Eli paljonko kuittaamatonta dataa verkossa täytyy kulkea

- Ongelmia syntyy, jos tulo on hyvin suuri!

Ideaalitilanteessa 'siirtoputki' on koko ajan täynnä!



Ongelmia aiheuttavat LFN-verkot (long, fat pipe network): pitkä etenemisviive ja suuri siirtonopeus, esim. satelliittiyhteydet ja nopeat runkolinjat eli joiden tulo > 1 Mb ~ 100 segmenttiä a' 1200 tavua.

Ongelmia LFN-verkoissa

- Ikkunan koko -kenttä liian pieni => 'putki' ei täyty (suurin mahdollinen ikkuna 2**16 = 65 KB)
  - ikkunan skaalaus -optio
- pakettien katoaminen => hidas aloitus eli 'siirtoputki' joudutaan tyhjentämään
  - parannukset ruuhkanhallintakäytäntöön
    - Fast Retransmit, Fast Recovery, Limited Transmit
    - SACK, ENC, RED
- Uudelleenlähetysajastimen tarkempi ajastus
  - Timestamp -optio

Optioita:

- **MSS (Maximum Segment Size)**
  - käytetään ilmoittamaan vastaanottajan yhteydellä hyväksymä suurin segmentin koko
  - eri suuntiin voi olla eri koko
  - voi olla suurempi tai pienempi kuin oletus-MSS

MSS ja MTU

- **MTU (Maximum Transfer Unit)** = suurin yhdessä verkon kehyksessä kulkeva datamäärä
  - Eri verkoissa eri kokoja, mutta minimi MTU= 576 B
- MSS = MTU - IP-otsake - TCP-otsake
  - oletus MSS = 576 - 20 - 20 = 536
  - Mutta otsakkeet voivat olla suurempia!

- MSS ilmoitetaan yhteyttä muodostettaessa eli SYN-segmenteissä
  - kumpikin osapuoli voi ilmoittaa oman MSS-arvonsa
    - jos ei ilmoita , niin suostuu vastaanottamaan minkä tahansa kokoisia segmenttejä.

2	4	maksimi segmentin koko

Muita optioita (RFC 1323):

- **ikkunaskaalaus** (window scaling factor)
  - kasvattaa TCP-otsakkeen 16-bitin ikkunan koon 32-bitin ikkunan kooksi

3	3	skaalaus

- **aikaleimaus** (timestamp)
  - segmentin aikaleima palautetaan kuittauksessa

8	10	segmentin aikaleima	kuitatun segmentin aikaleiman kaiutus

Ikkunan skaalaus (Window scale factor)

- ikkunakoko = 16 bittiä => 65536 tavua
  - kertoo vastaanottajan ikkunan = kuinka monta tavua voi lähettää ennenkuin täytyy jäädä odottamaan kuittausta
  - Jos RTT (Round-trip-time) on suuri, niin joudutaan odottelemaan
  - Efektiivinen nopeus B = 2**16/RTT
- jos käytössä ikkunan skaalaus -optio, ikkunakentän arvo kerrotaan 2**F:llä, jossa F on skaalausoption arvo.
  - Suurin F:n arvo on 14.
- käytetään vain yhteyden aloituspyynnössä

Miksi uudelleenlähetysajastimen arvo on tärkeä!

- Ruuhkan oikea havaitseminen riippuu uudelleenlähetysajastimen 'oikeasta' arvosta.
  - Liian suuri arvo => alkavaa ruuhkaa ei huomata ajoissa => verkkoa ylikuormitetaan => syntyy ruuhkatilanne => resurssien hukkakäyttöä
  - Liian pieni arvo => luullaan ruuhkaksi, vaikka ei olekaan => hidastetaan turhaan lähetystä => resurssien hukkakäyttöä

Uudelleenlähetysajastimen arvo

- mitataan paketin kiertoviive M ja viiveen poikkeama odotetusta eli |RTT-M|
  - RTT = aRTT + (1-a)M
  - D = bD + (1-b)|RTT-M|
  - ajastimen arvo = RTT + 4D
- Ongelmia aiheuttavat uudelleenlähetykset
  - Mikä sanomista kuitataan?
  - Karn: uudelleenlähetyksiä ei oteta mukaan, vaan ajastimen arvo kaksinkertaistetaan aina uudelleenlähetyksessä, kunnes saadaan onnistuneesti kuittaus.
- Useat toteutukset mittaavat vain yhden paketin ikkunasta!
  - Ongelmia, jos ikkuna suuri.

Aikaleima (timestamp)

- Kaksi eri optiota
  - Timestamp Value
    - lähtevissä segmenteissä,
  - Timestamp Echo Reply
    - kuittauksessa
    - sama kuin kuitatun segmentin Timestamp-arvo
- Voidaan käyttää missä tahansa datasegmentissä
- => Voidaan laskea kiertoviive jokaiselle segmentille, myös uudelleenlähetyksille.

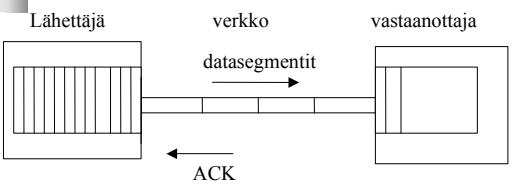
RTTM (Round-Trip Time Measurement)

- lähetettävään sanomaan liitetään aikaleima-optioon aikaleima
  - aikaleimakello, joka tikittää riittävän nopeasti
- sama aikaleima palautetaan sanoman kuittauksessa
- ongelmatilanteita:
  - viivästetty kuittaus: aikaisin kuittaamaton
    - TCP:n ei tarvitse kuitata jokaista segmenttiä
  - puuttuva segmentti: viimeisin hyväksytty
  - puuttuvan segmentin saapuminen: viimeisin puuttuva

Viivästetty ACK (Delayed ACK)

- TCP:n ei tarvitse välttämättä kuitata jokaista segmenttiä
  - kuitenkin kuitattava ainakin joka toinen ja viive saa olla korkeintaan 500 ms,
    - usein noin 200ms
- Hyöty: kuittaus kulkee datan mukana
  - samalla kertaa ikkunankoon muotos, kuittaus ja kaiutus
- Haitta: kiertoviiveen laskeminen, pakettien kellotus

TCP-ruuhkanvalvonta



- toimii lähetyksen tahdistajana

- putkestä poistunut dataa, joten voidaan lähettää sama määrä lisää

TCP:n itsetahdistus (self-clocking)

- TCP tahdistaa itse oman lähetyksensä ACK:ien avulla
  - nopeutta voi rajoittaa
    - verkko
      - ruuhkan takia syytä vielä pienentää lähetysnopeutta
    - vastaanottaja
      - lähetysnopeus ok
  - lähettäjä ei voi tietää kumpi

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

Ruuhkanvalvonta on hankalaa!

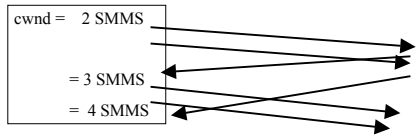
- Sitä varten on koko ajan kehitetty yhä parempia menetelmiä
  - uudelleenlähetysajastimen arvo
    - RTT:n varianssin arviointi
    - Karnin algoritmi
    - exponential retransmission timer backoff
  - lähetysikkunan hallinta
    - slow start
    - congestion avoidance
    - fast retransmit
    - fast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

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

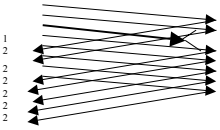
Slow start

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



Hidas aloitus

- Aina yhteyden alussa
- kun kuittausta ei tule ajoissa (paketti kadonnut!)



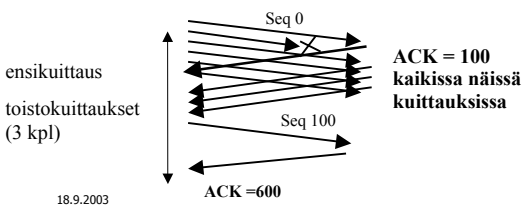
Ajastin laukeaa noin 400 ms kuluttua, jonka jälkeen aloitetaan hidas aloitus!

Toistokuittaus (Duplicate Ack)

- ensikuittaus (first-time ACK)
  - segmentin ensimmäinen kuittaus
  - tähän saakka kaikki on kunnossa
- toistokuittaus (duplicate ACK)
  - vastaanottaja kuittaa viimeksi saatua hyväksyttyä segmenttiä aina kun saa virheellisen tai väärässä järjestyksessä tulevan segmentin
  - NAKin korvike, jolla ilmoitetaan ongelmista lähettäjälle

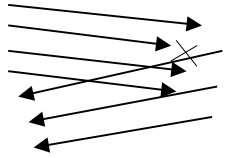
Nopea uudelleenlähetys (Fast retransmit)

- Kun lähettäjä vastaanottaa 3 toistokuittausta samalle segmentille, se lähettää heti puuttuvan segmentin uudestaan
  - eikä odota segmentin ajastimen laukeamista



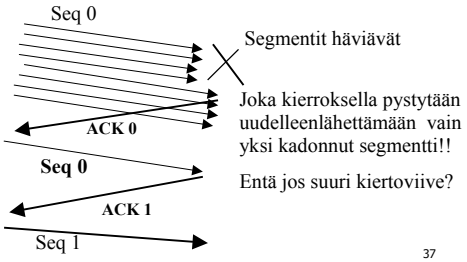
Ongelma 1: Ei saada kolmea toistokuittausta

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



Ongelma 2: Virheryöppy tuhoaa monta segmenttiä

- Kun useita segmenttejä katoaa 'samasta ikkunasta'



Limited Transmit

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

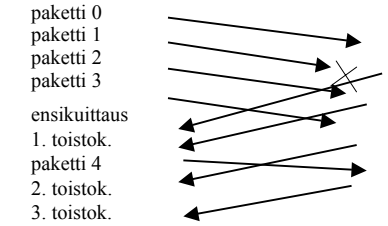
  M. Allman, H. Balakrishnan, S. Floyd. January 2001
  (Status: PROPOSED STANDARD)

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

Ratkaisu:

- 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 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

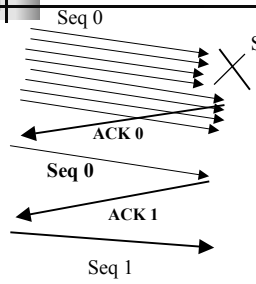
SACK (Selective Acknowledgement)

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

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

• Valikoivien kuittauksien lisääminen TCP:hen
  • TCP käyttää "Go Back N"-tyyppistä algoritmia ja kumuloivaa 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: 2000
    - segmentin 10 kuittaus:ACK 0, 1000: 10000
  - 1. ja 3. segmentti katoavat
    - segmentin 10 kuittaus:
    - ACK 0, 1000:2000 3000:10000

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

5	pituus
1. Lohkon alku	
1. Lohkon loppu	
2. Lohkon alku	
2. Lohkon loppu	
3. Lohkon alku	
3.lohkon loppu	

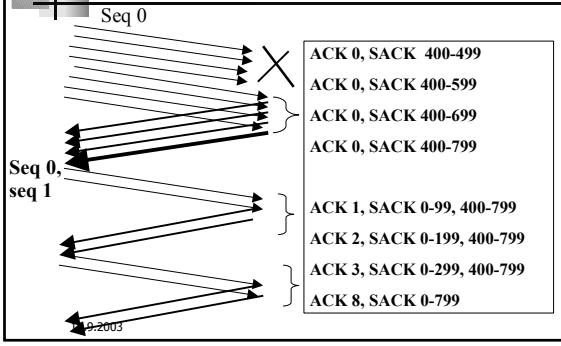
Optiotyyppi

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



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

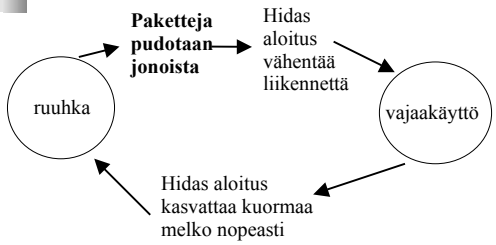
RED (Random Early Detection)

- 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'.

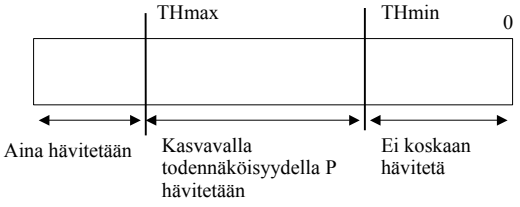
Tehokkaampi puskurijonojen hallinta

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

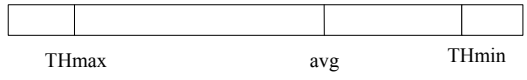
Kun paketti saapuu FIFO-tyyppiseen ulostulojonoon:

- 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)



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

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!

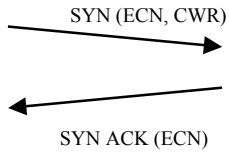
- Käyttöön 2 bittiä, joita käytetään ruuhkasta ilmoittamiseen
  - CE-bitti (Congestion Experienced)
    - reititin asettaa, kun on havainnut ruuhkaa
    - esim. kun RED-algoritmin jononpituus indikoi ruuhkaa
  - ECT-bitti (ECN Capable Transport)
    - kertoo, että kuljetuskerros kykenee käsittelemään 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

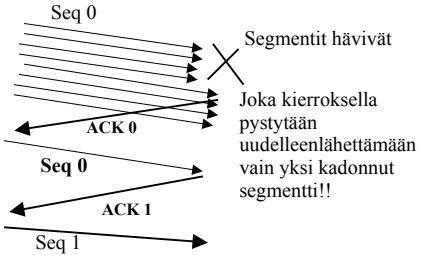
NewReno

- 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'



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

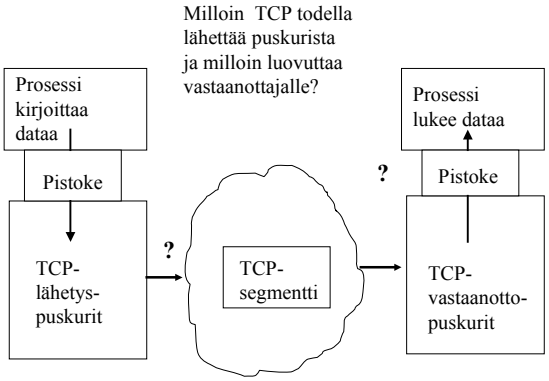
- Lähetetään uudelleen ensimmäinen kuittaamaton segmentti,
- kasvatetaan ruuhkaikkunaa kuitatuilla ja vähennetään siitä juuri lähetetty
- lähetetään uusia segmentteja, jos ruuhkaikkuna ja vastaanottajan ikkuna tänän sallii
- ja jatketaan toipumisvaihetta

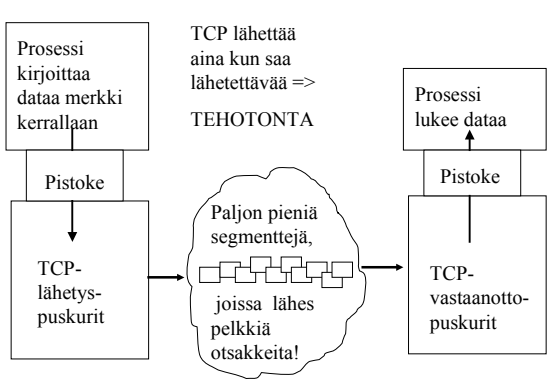
Eri versioita

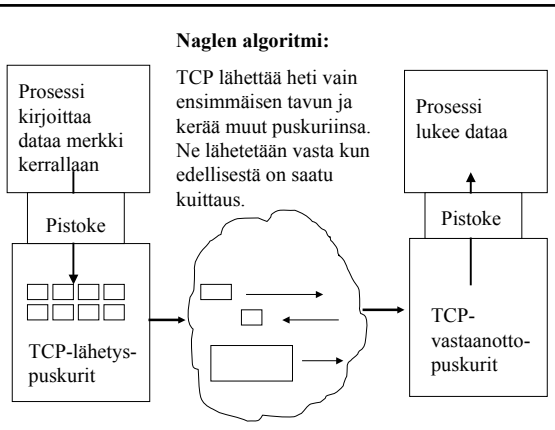
- Pitäiskö kuitenkin uudelleenlähettää kerralla useampi kuin yksi?
- Miten ajastin tulisi parhaiten asettaa kun uudelleenlähetetään segmentti?
- Yms.
- Nyt ollaan jo melko kaukana itse standardista. Nämä ovat avoimia tutkimuskysymyksiä!

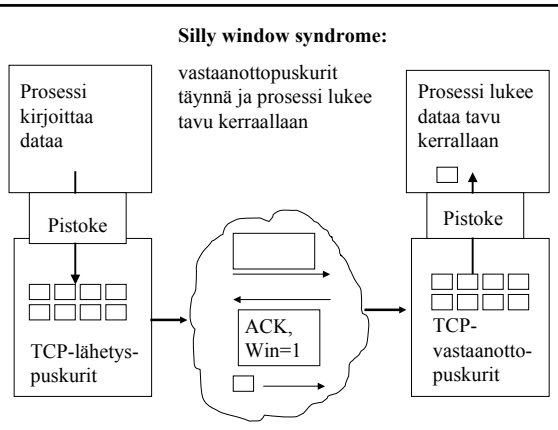
Uudelleenlähetysajastin

- RFC 2988: **Computing TCP's Retransmission Timer.**
  V. Paxson, M. Allman.
  November 2000
  (Status: PROPOSED STANDARD)









Silly window syndrome:

Clarkin ratkaisu: ei lähetyslupaa lähettäjälle ennenkuin puskureissa on reilusti tilaa. Vähintäänkin maksimisegmentin koko.