

Tietoliikenne II (2 ov)

Syksy 2002
Liisa Marttinen

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

17.09.02

1

Sisällysluettelo jatkuu

- ◆ 4. Linkkikerroksen ja peruserroksen asioita
 - » HDLC, PPP, SONET, ...
 - » Tiedonsiirron teoreettinen perusta (Shannon, Nyquist, ...)
- ◆ 5. Internetin palvelun laatu (QoS)
 - » integroidut palvelut
 - » eriytyneet palvelut
- ◆ 6. Turvallisuus (??)
- 7. Verkonhallinta (???)

17.09.02

4

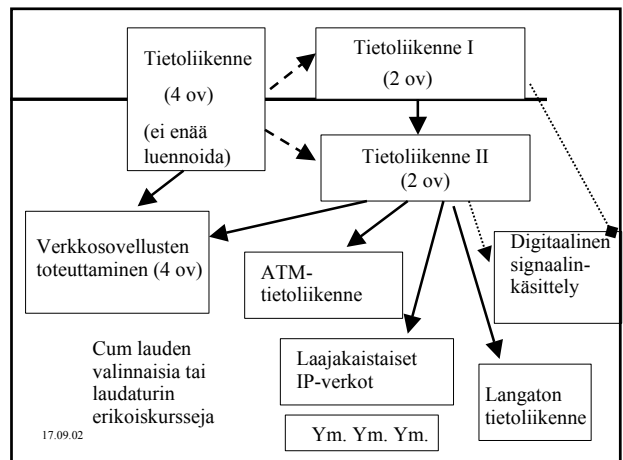
Tietoliikenne II

Täydennystä Tietoliikenne I -kurssin asioihin

- perusteellisemmin
- laajemmin
- ‘teoreettisemmin’
- ◆ perus-, linkki- ja MAC-kerros
- ◆ reititys, IPv6
- ◆ TCP: suorituskyky ja uudet piirteet
- ◆ DNS, ..

17.09.02

2



17.09.02

Alustava sisällysluettelo

- ◆ 1. TCP:n suorituskyky
 - optiot
 - uudet piirteet ruuhkanvalvonnassa
- ◆ 2. IPv6, IPsec?
- ◆ ICMP
- ◆ Reititys
 - » OSPF, BGP, monilähetysreititys, mobiilireititys
- ◆ 3. muita verkkoja: atm, FDDI, ...

17.09.02

3

Suoritus

- ◆ kurssikoe maks. 50 p, min 25 p
 - ma 17.12. klo 9-13 sali 1 päärakennus ???
- ◆ 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
- ◆ tai sitten loppukokeella maks. 60 p
 - tammi- tai helmikuussa 2003

17.09.02

6

1. TCP ja suorituskyky

- ◆ TCP:n peruspiirteiden toiminta tarkemmin
 - osin harjoitustehtävissä
- ◆ TCP:n lisäpiirteitä
 - Ikkunaskaalaus (Window scaling)
 - Aikaleimaus (time stamping)
 - SACK (Selective Acknowledgement)
 - RED (Random Early Detection)
 - ECN (Explicit Congestion Notification)

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

TCP-otsakkeen kentät

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

- ◆ **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
---	---	------------------------

TCP-optiot

- ◆ **Optio-kenttä**
 - erilaisia 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
 - » 60 tavua -20 tavua vakio-otsaketta => enintään 40 tavua optioita varten

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

Muita ehdotettuja optioita (RFC 1323):

- ◆ **ikkunaskaalaus (window scaling factor)**
 - kasvattaa TCP-otsakkeen 16-bitin ikkunan koon 32-bitin ikkunan kooksi
- ◆ **aikaleimaus (timestamp)**
 - segmentin aikaleima palautetaan kuittauksessa

3	3	skaalaus
---	---	----------

8	10	segmentin aikaleima	kuitatun segmentin aikaleiman kaiutus
---	----	---------------------	---------------------------------------

Erilaisia suorituskykyongelmia

◆ TCP-protokolla käytössä hyvin erilaisissa ympäristöissä

- » pitkän viipeen satelliittiyhteyksillä
- » erittäin nopeilla yhteyksillä
- » langattomilla yhteyksillä

◆ => suorituskykyongelmia

- otsakkeen kentät liian pieniä
 - » **ikkunankoko 16 bittiä => 65536 tavua**
 - ◆ rajoittaa lähetyksenopeutta mm. satelliittiyhteyksillä
 - » **järjestysnumero 32 bittiä**
 - ◆ rajoittaa lähetyksenopeutta erittäin nopeilla yhteyksillä

17.09.02

13

Ongelmia LFN-verkoissa

- Ikkunan koko -kenttä liian pieni => 'putki' ei täyty (suurin mahdollinen ikkuna $2^{16} = 65\text{ KB}$)
 - ikkunan skaalaus -optio
- pakettien katoaminen => hidas aloitus eli 'putki' joudutaan tyjentämään
 - parannukset ruuhkanhallintakäytäntöön
 - » Fast Retransmit, Fast Recovery (yksi paketti katoaa)
 - » SACK (mitkä saapuneet, mitkä kadonneet)
- Uudelleenlähetyksajastimen tarkempi ajastus
 - » Timestamp -optio

17.09.02

16

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

- paljonko kuittaamatonta dataa verkon täytyy pystyä välittämään

◆ Ongelmia syntyy, jos tulo on hyvin suuri!

17.09.02

14

Lisää ongelmia:

• Järjestysnumeroiden uudelleenkäyttö

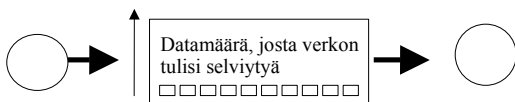
- Samannumeroinen segmentti voi yhä olla verkossa => se hyväksytään 'uutena'
- Samannumeroinen ACK-kuittaus voi yhä olla verkossa => lukkiutunut tilanne, josta toivutaan vain RST:llä
 - » Lähettäjä saa kuittauksen ja siirtyy seuraavaan segmenttiin
 - » Vastaanottaja jää odottamaan puuttuvia tavuja ja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

17.09.02

17

Ideaalitilanteessa 'lähetyspotki' on koko ajan täynnä!

Lähetyksenopeus (bps)



RTD (s)

aika lähetyksen alusta
kuittauksen saapumiseen

Ongelmia aiheuttavat LFN-verkot (long, fat pipe network):
pitkä viive ja suuri lähetyksenopeus, esim. satelliittiyhteydet
ja nopeat runkolinjat => tulo > 1 Mb ~ 100 segmenttiä

17.09.02

15

MSL (Maximum Segment Lifetime)

- MSL = 2 minuuttia
 - IP-kerroksen elinaikakenttä (time-to-live) rajoittaa
- Järjestysnumerokenttä on 32 bittiä (~ $4.3 \cdot 10^{10}$)
- Esimerkkejä eri verkkojen numeroiden kiertoaajasta
 - ARPANET 56 kbps 7 KBps ~ 3.6 päivää
 - Ethernet 10 Mbps 1.25 MBps ~ 30 min
 - FDDI 100 Mbps 12.5 MBps ~ 3 min
 - Gigabit 1 Gbps 125 MBps 17 sec
- Nopeissa verkoissa aiheuttaa ongelmia!

17.09.02

18

Ikkunan skaalaus (Window scale factor)

- ◆ ikkunakoko = 16 bittä => 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 $2 * F$, jossa F on skaalausoption arvo.
 - » Suurin F:n arvo on 14.
- ◆ käytetään vain yhteyden aloituspyynnössä

17.09.02

19

Aikaleima (timestamp)

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

17.09.02

22

Miksi uudelleenlähetyksajastimen arvo on tärkeä!

- ◆ Ruuhkan oikea havaitseminen riippuu uudelleenlähetyksajastimen '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

17.09.02

20

RTTM (Round-Trip Time Measurement)

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

17.09.02

23

Uudelleenlähetyksajastimen 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.

17.09.02

21

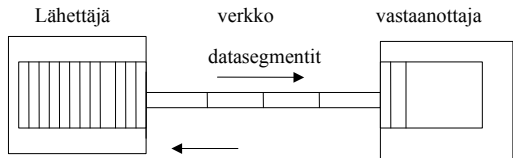
Viivästetty ACK (Delayed ACK)

- 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 ikkunan muutos, kuittaus ja kaiutus
- Haitta: kiertoviiveen laskeminen, pakettien kellotus

17.09.02

24

TCP-ruuhkanvalvonta



ACK

toimii lähetyksen tahdistajana

putkesta poistunut dataa, joten voidaan lähettää sama määrä lisää

17.09.02

25

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

17.09.02

28

TCP self-clocking

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

17.09.02

26

Ruuhkaikkunan arvo eri tilanteissa

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

17.09.02

29

Ruuhkanvalvonta on hankalaa!

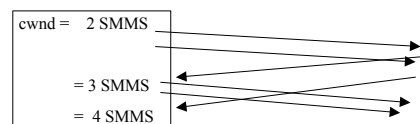
- ◆ Sitä varten on koko ajan kehitetty yhä parempia menetelmiä
 - uudelleenlähetyksajastimen arvo
 - » RTT:n varianssin arviointi
 - » Karnin algoritmi
 - » exponential retransmission timer backoff
 - lähetyksikkunan hallinta
 - » slow start
 - » congestion avoidance
 - » fast retransmit
 - » fast recovery

17.09.02

27

Slow start

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

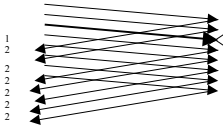


17.09.02

30

Hidas aloitus

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



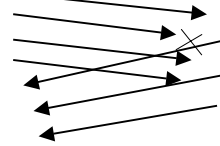
Ajastin laukeaa noin 400 ms kuluttua, jonka jälkeen aloitetaan hidas aloitus!

17.09.02

31

Ongelma 1: Ei saada kolmea toistokuittausta

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



17.09.02

34

“Duplicate Ack”

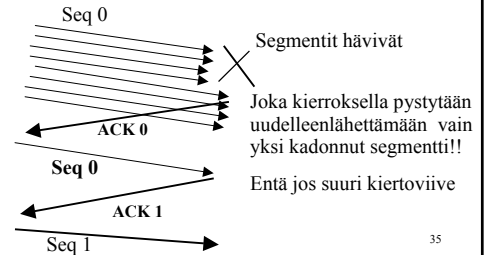
- ◆ ensikuittaus (first-time ACK)
 - segmentin ensimmäinen kuittaus
 - tähän saakka kaikki on kunnossa
- ◆ toistokuittaus (duplicate ACK)
 - vastaanottaja kuittaa viimeksi saatua hyväksytyä segmenttiä aina kun saa virheellisen tai väärässä järjestyksessä tulevan segmentin
 - NAKin korvike, jolla ilmoitetaan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

17.09.02

32

Ongelma 2: Virheryöppy tuhoaa monta segmenttiä

- ◆ Kun useita segmenttejä katoaa ‘samasta ikkunasta’

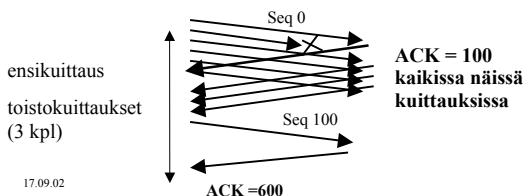


17.09.02

35

Nopea uudelleenlähetys (Fast retransmit)

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



17.09.02

33

Limited Transmit

- ◆ RFC 3042: **Enhancing 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

17.09.02

36

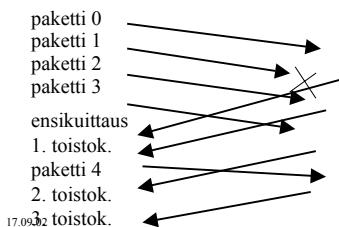
Ratkaisu:

- ◆ 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)

17.09.02

37

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



38

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 uudelleenlähetystyksiä

17.09.02

39