

Tietoliikenne II (2 ov)

Syksy 2001
Liisa Marttinen

Kurssikirja:
Kurose & Ross, Computer Networking
Lisämateriaalia: Aiheeseen liittyvät RFC:t

28.10.2001

1

Tietoliikenne II

Täydennystä Tietoliikenne I -kurssin asioihin

- perusteellisemmin
- laajemmin
- 'teoreettisemmin'

- ◆ perus-, linkki- ja MAC-kerros
- ◆ reititys, IPv6
- ◆ TCP: suorituskyky ja uudet piirteet
- ◆ DNS, ..

28.10.2001

2

Alustava sisällysluettelo

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

28.10.2001

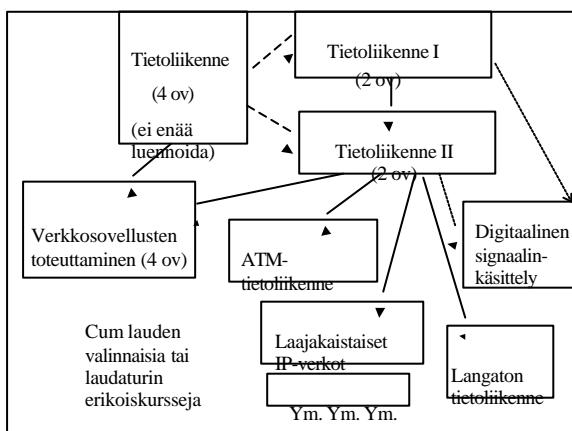
3

Sisällysluettelo jatkuu

- ◆ Linkkikerroksen ja peruserroksen asioita
 - HDLC, PPP, SONET, ..
 - Tiedonsiirron teoreettinen perusta (Shannon, Nyquist, ...)
- ◆ Internetin palvelun laatu (QoS)
 - integroidut palvelut
 - eriytyneet palvelut
- ◆ ???

28.10.2001

4



Suoritus

- ◆ kurssikoe maks. 50 p, min 20 p
 - ma 17.12. klo 9-13 sali 1 päärakennus
- ◆ kurssiaktiivisuus maks. 20 p
 - traditionaaliset harjoitukset => maks. 10 p
 - miniesseet (1-5 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 2002

28.10.2001

6

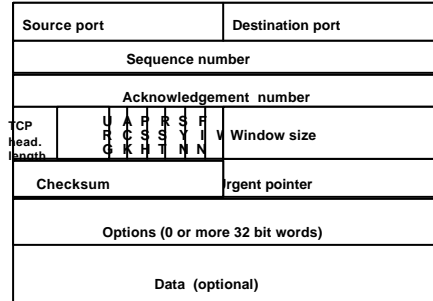
1. TCP

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

28.10.2001

7

TCP-otsakkeen kentät



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 => $15 \cdot 4$ 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

28.10.2001

9

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 kehyksessä 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!

28.10.2001

10

- ◆ MSS ilmoitetaan yhteyttä muodostettaessa eli SYN-segmenteissä

- kumpikin osapuoli voi ilmoittaa oman MSS-arvonsa
 - » jos ei ilmoita, niin suostuu vastaanottamaan minkä tahansa kokoisia segmenttejä.

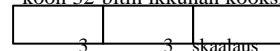


28.10.2001

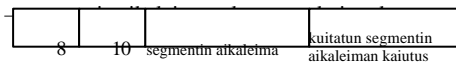
11

Muita ehdotettuja optioita (RFC 1323):

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



- ◆ aikaleimaus (timestamp)



28.10.2001

12

Erilaisia suorituskykyongelmia

- ◆ TCP-protokolla käytössä hyvin erilaisissa ympäristöissä
 - » pitkän viipeen satelliittiyhteyksillä
 - » erittäin nopeilla yhteyksillä
 - » langattomilla yhteyksillä
- ◆ => suorituskykyongelmia
 - otsakkeen kentät liian pieniä
 - » **ikkunankoko 16 bittii => 65536 tavua**
 - ◆ rajoittaa lähetysopeutta mm. satelliittiyhteyksillä
 - » järjestysnumero 32 bittii
 - ◆ rajoittaa lähetysopeutta erittäin nopeilla yhteyksillä

28.10.2001

13

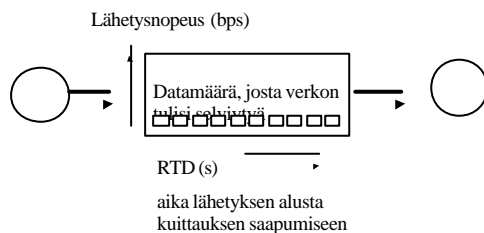
Kaistan ja kiertoviiveen tulo (bandwidth * delay product)

- ◆ 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!

28.10.2001

14

Ideaalitilanteessa 'lähetyspotki' on koko ajan täynnä!



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

Ongelmia LFN-verkoissa

- ◆ Ikkunan koko -kenttä liian pieni => 'putki' ei täyty
 - ikkunan skaalaus -optio
- ◆ pakettien katoaminen => hidas aloitus eli 'putki' joudutaan tyjentämään
 - parannukset ruuhkanhallintakäytäntöön
 - » Fast Retransmit, Fast Recovery, SACK, ...
 - » uudelleenlähetyssajastimen tarkempi ajastus
 - ◆ Timestamp -optio

28.10.2001

16

Ikkunan skaalaus (Window scale factor)

- ◆ ikkunakoko = 16 bittii => 65536 tavua
 - » vuonvalvonnassa
 - » kertoo vastaanottajan ikkunan = kuinka monta tavua voi lähettää ennenkuin täytyy jäädä odottamaan kuittausta
- ◆ 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

28.10.2001

17

Miksi uudelleenlähetyssajastimen arvo on tärkeä!

- ◆ Ruuhkan oikea havaitseminen riippuu uudelleenlähetyssajastimen '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

28.10.2001

18

Uudelleenlähetyssajastimen 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 kuitaus.
- ♦ Useat toteutukset mittaavat vain yhden paketin ikkunasta!
 - ♦ Ongelmia, jos ikkuna suuri.

28.10.2001

19

Aikaleima (timestamp)

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

28.10.2001

20

RTTM (Round-Trip Time Measurement)

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

28.10.2001

21

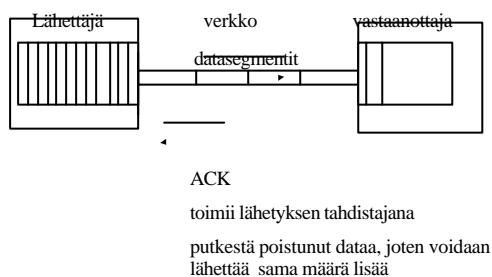
Viivästetty ACK (Delayed ACK)

- Ei tarvitse välttämättä kuitata jokaista segmenttiä
 - kuitenkin kuitattava ainakin joka toinen ja viive saa olla korkeintaan 500 ms,
 - ♦ usein noin 200ms
- Hyöty: kuitaus kulkee datan mukana
 - samalla kertaa ikkunan muutos, kuitaus ja kaiutus
- Haitta: kiertoviiveen laskeminen, pakettien kellotus

28.10.2001

22

TCP ruuhkanvalvonta



28.10.2001

23

TCP self-clocking

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

28.10.2001

24

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

28.10.2001

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

28.10.2001

26

Ruuhkaikkunan arvo eri tilanteissa

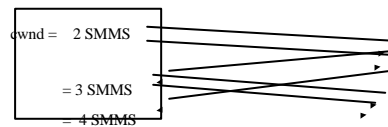
- initial window (IW)
 - » ruuhkaikkunan arvo heti kolminkertaisen kättelyn jälkeen
 - ◆ korkeintaan kaksi segmenttiä tai 2* suurin määrä tavuja, jonka lähettäjä voi kerralla lähettää (SMSS)
- loss window (LW)
 - » ikkunan arvo, kun TCP on havainnut, uudelleenlähetyksajastimen lauettua, segmentin kadonneeksi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

28.10.2001

27

Slow start

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

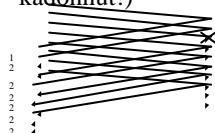


28.10.2001

28

Hidas aloitus

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



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

28.10.2001

29

“Duplicate Ack”

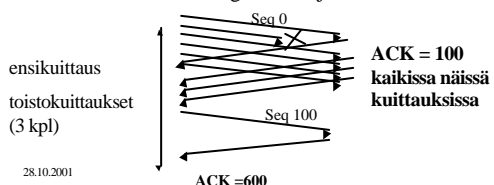
- ◆ ensikuittaus (first-time ACK)
 - segmentin ensimmäinen kuittaus
 - tähän saakka kaikki on kunnossa
- ◆ toistokuittaus (duplicate ACK)
 - vastaanottaja kuittaa viimeksi saatua hyväksytyä segmenttiä aina kun saa virheellisen tai väärässä järjestyksessä tulevan segmentin
 - NAKin korvike, jolla ilmoitetaan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

28.10.2001

30

Nopea uudelleenlähetys (Fast retransmit)

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

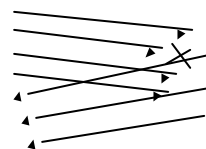


28.10.2001

31

Ongelma 1: Ei saada kolmea toistokuittausta

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

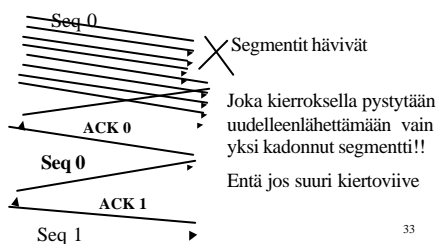


28.10.2001

32

Ongelma 2: Virheryöppy tuhoaa monta segmenttiä

- ◆ Kun useita segmenttejä katoaa 'samasta ikkunasta'



28.10.2001

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

28.10.2001

34

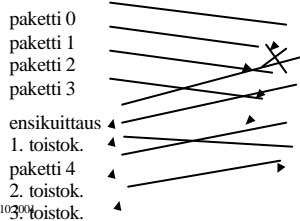
Ratkaisu:

- ◆ 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)

28.10.2001

35

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



28.10.2001

36

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

28.10.2001

37