Kuittaukset

- ACK
  - kumulatiivinen ACK
    - tähän saakka kaikki ok!
    - Go-Back N
  - yksittäinen ACK
    - vain tämä ok!
    - Valikoiva toisto
- NAK-kuittaus
  - sanoma virheellinen tai puuttuu

Negatiiviset kuittaukset

- **NAK-kuittauksilla voidaan nopeuttaa uudelleenlähettämistä**
  - **vastaanottaja ilmoittaa heti virheellisestä tai puuttuvasta kehyksestä**
  - **ei ole tarpeen odottaa ajastimen laukeamista**
- **hyödyllinen, jos kuittausten saapumisaika vaihtelee paljon**
  - **ajastinta vaikea asettaa oikein**

- NAK-kuittaukset voivat aiheuttaa turhia uudelleenlähetyksiä
  - lähetys ja kuittaus menevät ristiin
- NAK-kuittauksen katoaminen ei haittaa

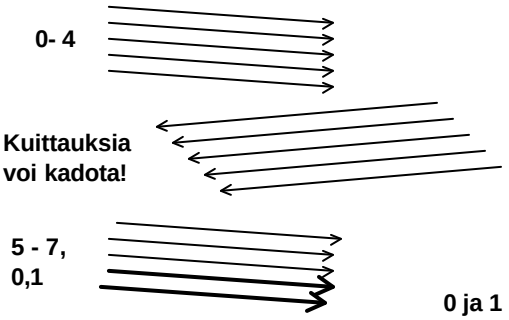
- implisiittinen uudelleenlähetys
  - ei NAK-kuittauksia
- explisiittinen uudelleenlähetys
  - käytetään NAK-kuittauksia

Ikkunankoko

- Kun käytetty numeroavaruus on 0, 1, .. n ja eri numeroita siis käytettävissä n+1
  - yleensä jokin kakkosen potenssi
    - » koska numerokentän koko k bittiä => käytössä 2**k numeroa
- ikkunan koko ‘go back n’:ssä voi olla korkeintaan n
  - eli ainakin yhtä pienempi kuin numeroavaruus
- ikkunan koko valikoivassa toistossa voi olla korkeintaan (n+1)/2
  - korkeintaan puolet numeroavaruudesta

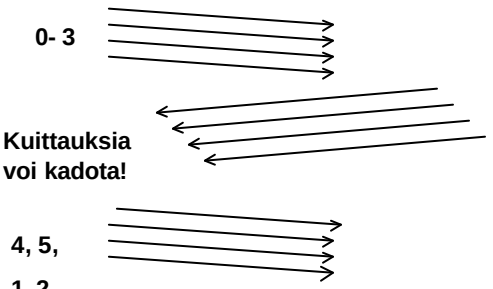
Miksi?

- Valikoiva toisto: ikkuna 5, numeroavaruus 8



Miksi?

- Valikoiva toisto: ikkuna 4, numeroavaruus 8



Kaksisuuntainen liikenne

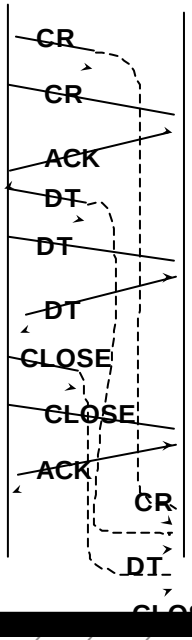
- **datakehys ja kuittauskehys**
- **kehyksessä sekä data että kuittaus**
  - **'piggypacking'**
  - **tehostaa lähetystä**
- **ongelma: kauanko kuittaaja odottaa dataa ennen pelkän kuittauksen lähettämistä?**

3.5. TCP-protokolla

- yhteyden muodostus ja purku
- luotettavan tavuvirran toteuttaminen
- vuonvalvonta
- siirron optimointi
- TCP-segmentti
- ruuhkan valvonta
- TCP-palvelun käyttö

6.2.2. Yhteyden muodostus ja purku TCP:ssä

- TCP käyttää yhteyden muodostamiseen ja purkuun ns. kolminkertaista kättelyä (three-way handshake)
  - välissä oleva verkko tekee yhteyden muodostamisen ja purun hankalaksi
    - viivästyneet sanomat => sanomille elinaika
    - sanomien numeroinnista sopiminen
  - Bysanttilainen ongelma (two-army problem)
    - “hyökkään, jos olen varma, että sinäkin hyökkäät”
    - symmetrinen yhteyden purku = molemmat osapuolet tietävät, että toinenkin on varmasti purkanut yhteyden

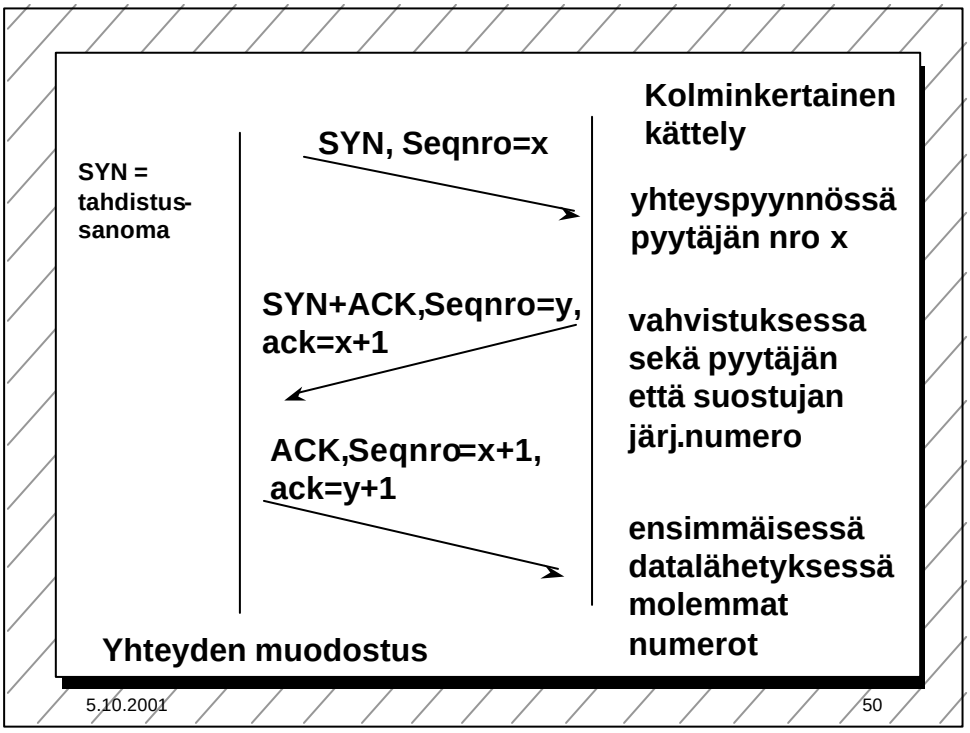


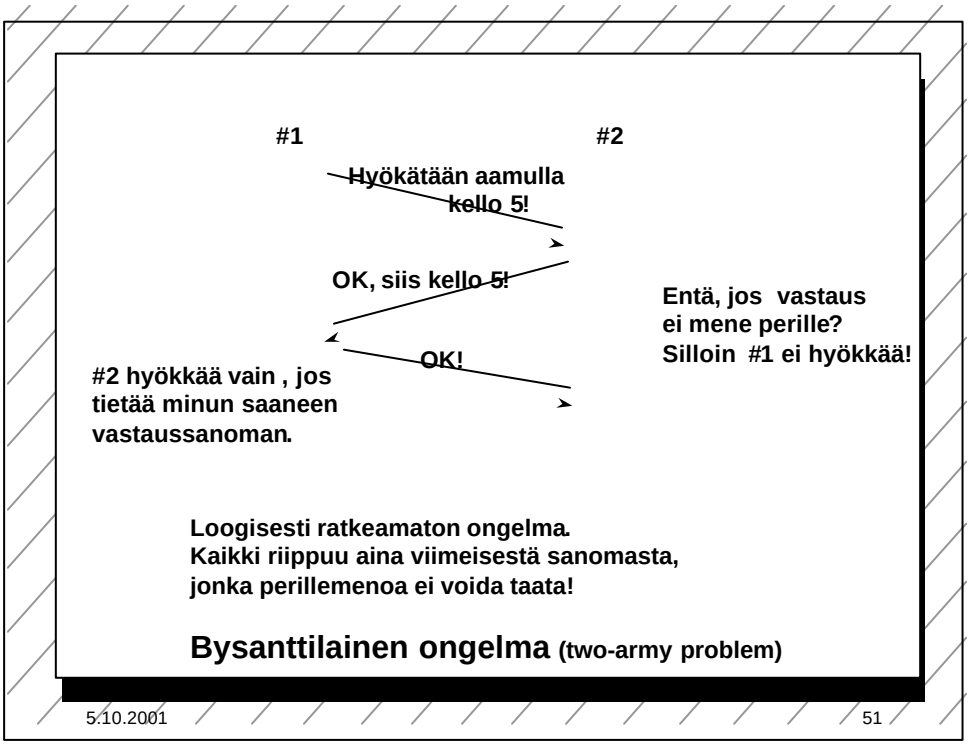
Yhteyden muodostus ruuhkaisessa verkossa

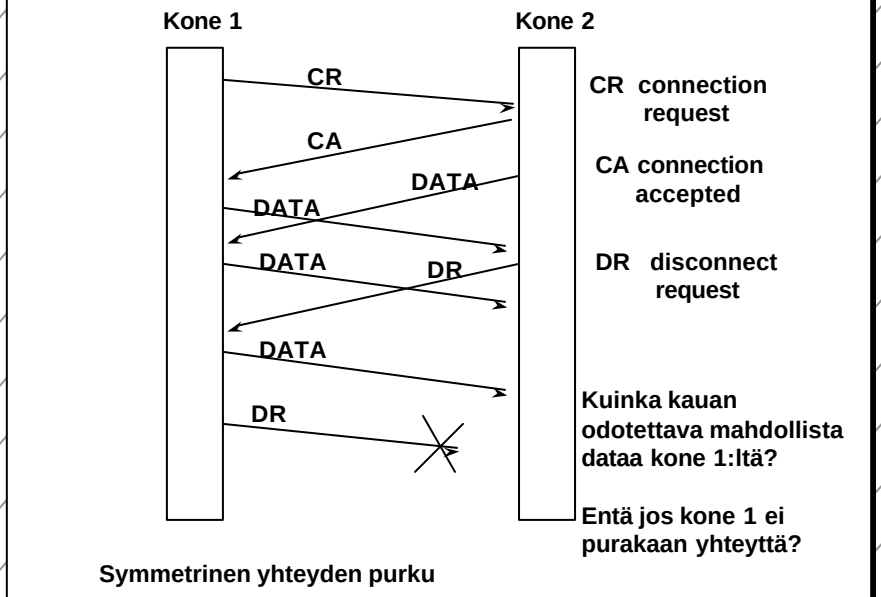
Jokainen paketti lähetetään kahteen kertaan

Kun yhteys on purettu, viivästyneet kaksoiskappaleet saapuvat

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


SYN, Seqnro=x
SYN = tahdistus-sanoma
SYN+ACK,Seqnro=y, ack=x+1
ACK,Seqnro=x+1, ack=y+1
Kolminkertainen kättely
yhteyspyynnössä pyytäjän nro x
vahvistuksessa sekä pyytäjän että suostujan järj.numero
ensimmäisessä datalähetyksessä molemmat numerot
Yhteyden muodostus

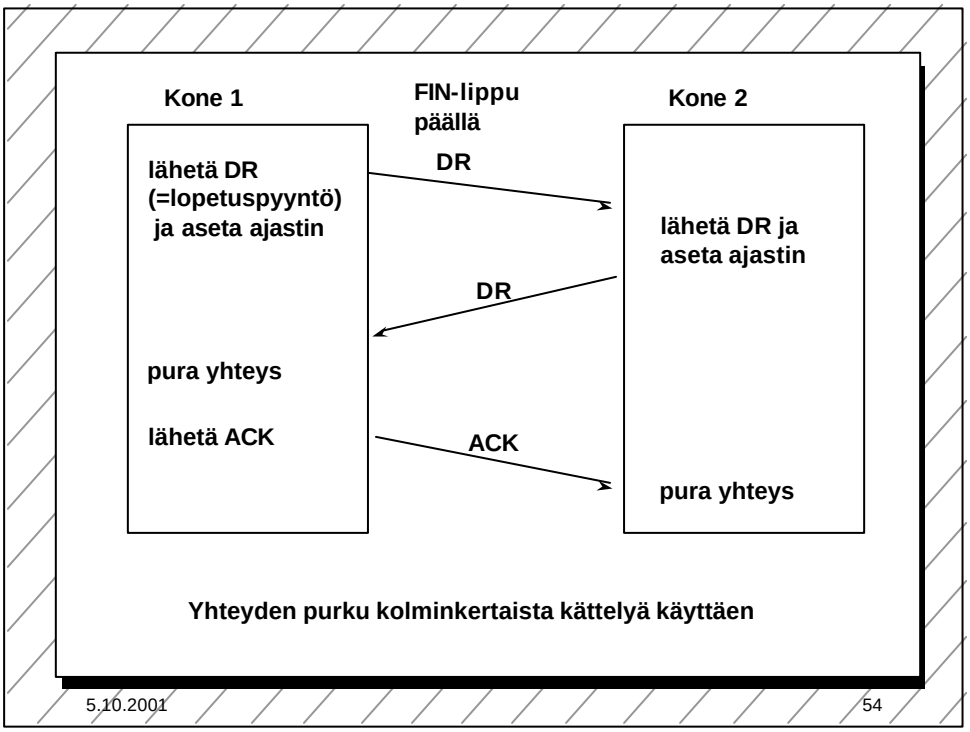

#1
#2
Hyökätään aamulla kello 5!
OK, siis kello 5!
OK!
Entä, jos vastaus ei mene perille? Silloin #1 ei hyökkää!
#2 hyökkää vain , jos tietää minun saaneen vastaussanoman.
Loogisesti ratkeamaton ongelma. Kaikki riippuu aina viimeisestä sanomasta, jonka perillemenoa ei voida taata!
Bysanttilainen ongelma (two-army problem)



Symmetrinen yhteyden purku

Yhteyden purku

- molemmat suunnat puretaan erikseen
- TCP-segmentti
  - FIN = 1
  - ei enää dataa lähetettävä
  - kun saadan kuittaus => yhteys tähän suuntaan purettu
  - yhteys kokonaan purettu, kun molemmat suunnat purettu
- purussa käytetään ajastimia
  - 2 * paketin maksimaalinen elinikä



Virheettömyys ja järjestys

- Järjestysnumerot
  - tavuvirta => tavunumerointi
  - segmentin 1. tavun järjestysnumero
  - yhteyden alussa satunnaiset numerot
- kuittaukset
  - kumulatiivinen ACK, ei NAK-kuittausta
  - kuittauksessa seuraavaksi odotettava tavu
  - kuitataan ‘tiheästi’
    - vähintään joka toinen

- Go Back N -tyyppinen
  - virheellisiä tai väärässä järjestyksessä tulleita ei hyväksytä
    - ne voidaan myös tallettaa
  - mutta ei välttämättä lähetä kaikkia virheellisestä lähtien uudestaan
- Myös ehdotettu valikoivan toiston tyyppistä kuittaamista
  - SACK-kuitaus, joka kertoo, mitkä segmentit on vastaanotettu ok

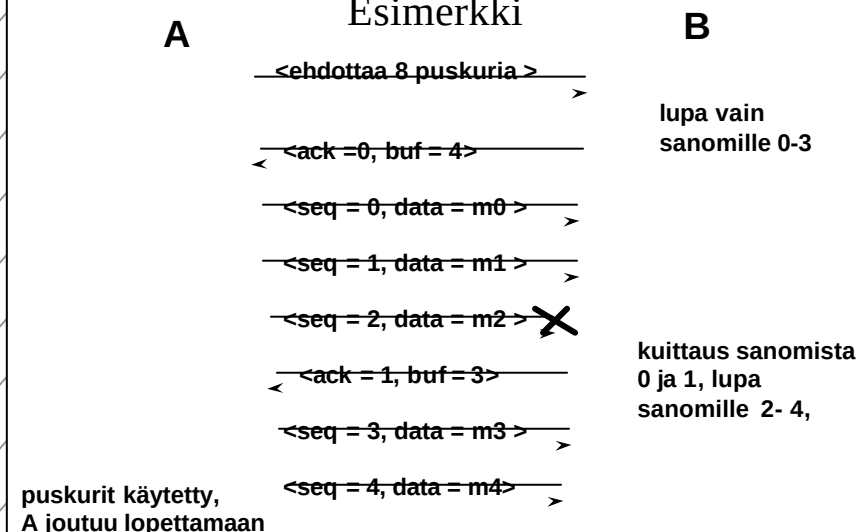
Toistokuittaukset

- Ensikuittaus
  - tähän saakka kaikki OK!
  - ensimmäisen kerran saatava
- toistokuittaus (duplicate ACK)
  - väärässä järjestyksessä saatu segmentti tai virheellinen segmentti => toistetaan uudestaan jo annettu kuittaus
    - NAK-kuittauksen korvike
    - 3 toistokuittausta => segmentti kadonnut tai virheellinen

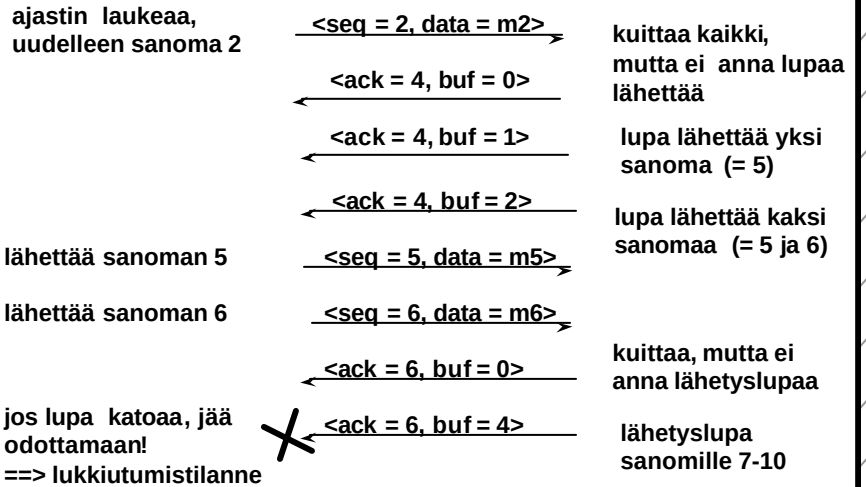
TCP:n vuonvalvonta

- ‘joustava’ liukuva ikkuna (sliding window) (credit-vuonvalvonta)
- vastaanottaja kertoo, kuinka paljon suostuu vastaanottamaan
  - => kuittaus irroitettu vuonvalvonnasta
    - AdvertisedWindow-kenttä
      - paljonko saa lähettää = paljonko vastaanottajan puskureihin mahtuu
- myös ruuhkan valvonta rajoittaa lähettämistä

Esimerkki



Esimerkki jatkuu



- jos ilmoitus lisäpuskureista katoaa, lähettäjä lukkiutuu odotustilaan
  - vastaanottaja voi luulla, ettei ole lähetettävää
- lukkiutumisen estämiseksi
  - kun ikkunankoko = 0 lähettäjä ei saa lähettää, paitsi
  - pikadataa (URG)
  - yhden tavun ‘kyselyn’, jonka vastaanottaja kuittaa ja samalla ilmoittaa ikkunan koon

    => estää turhat lukkiutumiset

Siirron optimointi

- TCP saa optimoida lähettämisiään
  - ei tarvitse lähettää heti kun data on tullut
  - dataa kerätään puskuriin ja lähetetään sopivassa tilanteessa
  - PUSH-lipun avulla sovellus ilmoittaa, että data on lähetettävä heti

Optimointi on usein tarpeen:

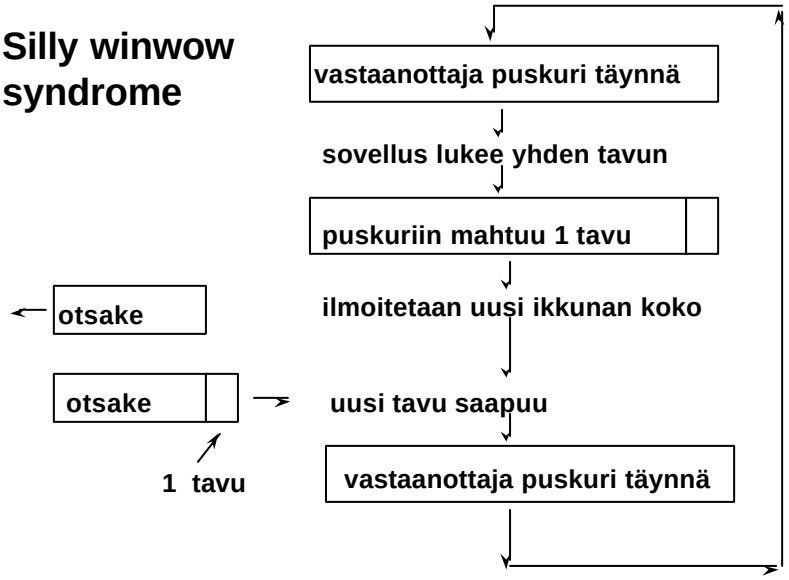
- Interaktiivinen editori => merkki lähetetään heti
  - **21 tavun TCP-segmentti => 41 tavun IP-paketti**
  - **joka kuitataan 40 tavun IP-paketilla**
  - **ilmoitus uudesta ikkunan koosta 40 tavun IP-paketilla**
  - **kaiutetaan merkki vielä 41 tavun IP-paketilla**
  - yhden merkin käsittely =>
    - 162 tavun siirtäminen
    - ja neljän segmentin lähettäminen

- Ratkaisu: Naglen algoritmi
  - jos data tulee tavuttain
    - lähetä 1. tavu
    - kerää sitä seuraavat tavut puskuriin ja lähetä vasta kun edellinen lähetys on kuitattu
    - paitsi jos lähetettävää on suurimman segmentin verran tai puolet ikkunan koosta
  - hankala, jos hiirtä liikutellaan Internetin kautta!

Silly window syndrome

- Tilanteessa, jossa
  - lähettäjältä dataa TCP:lle suurina lohkoina
  - vastaanottajalle mahtuu vain tavu kerrallaan
- voi tuhota TCP:n suorituskyvyn
  - koko data lähetetään tavu kerrallaan
  - joka tavun välissä ilmoitus ikkunan koon kasvattamisesta yhdellä
- Siis: ei ilmoitusta yhdestä tavusta, lähettäjä ei lähetä yhtä tavua
  - koko segmentti
  - puolet puskurin koosta

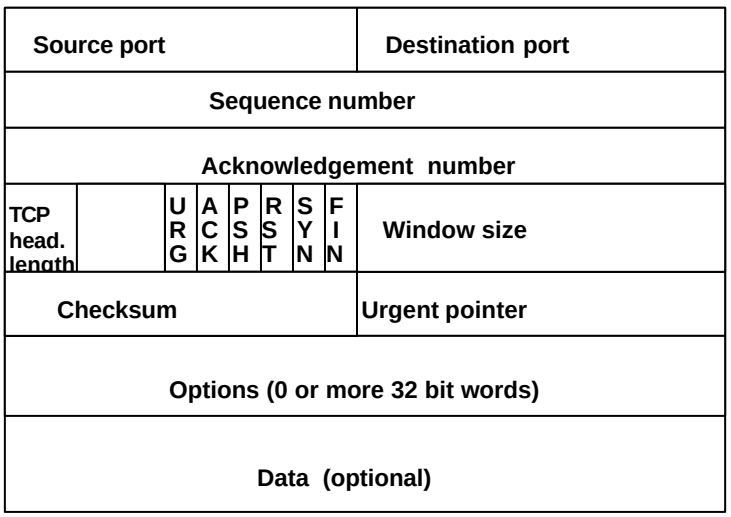
Silly winwow syndrome



TCP-segmentti

- segmentti
  - 20 tavun otsake
    - + optionaalinen osa
  - dataosa
    - voi puuttua
- segmentin kokoa rajoittaa
  - MTU (Maximum transfer unit)
    - verkon rajoitus maksimikoolle (muutama tuhat tavua)
  - IP-paketin dataosa korkeintaan 65535 tavua
- liian isot segmentit paloitellaan
  - joka palalle IP-otsake => yleisrasite kasvaa

TCP-otsakkeen kentät



TPC-segmentin otsakekentät

- **Lähde- ja kohdeportit** (Source port, Destination port)
  - yhteyden päätepisteet
  - portti + koneen IP-osoite => 48 bittinen TSAP
- **Järjestysnumero** (Sequence number)
  - tavut numeroidaan => 32 bittiä
    - segmentin ensimmäisen tavun numero
- **Kuittausnumero** (Acknowledgement number)
  - seuraavaksi odotettu tavu
- **TCP-otsakkeen pituus** (TCP header length)
  - mahdollisten optiokenttien takia
- **6 bitin käyttämätön kenttä**

- **6 lippubittiä**
  - **URG** onko pikadataa
    pikadatan sijainnin ilmoittaa
    pikadatakenttä (Urgent pointer)
  - **ACK** onko kuittauskenttä käytössä
  - **PSH** onko hetilähetettävää (pushed) dataa
  - **RST** yhteyden uudelleenalustuspyyntö (reset), yleensä ongelmatilanne
  - **SYN** käytetään yhteyttä muodostettaessa
    SYN =1, ACK = 0 connection request
    SYN =1, ACK = 1 connection accepted
  - **FIN** käytetään yhteyden purkuun
    FIN =1 ei enää lähetettävää

- **Ikkunan koko** (window size)
  - vaihteleva ikkunankoko
  - kuittaus irroitettu lähetysluvasta
- **Tarkistussumma** (Checksum)
  - lasketaan otsakkeelle, datalle ja ns. pseudo-otsakkeelle

pseudo-otsake

Source IP address		
Destination IP address		
00000000	Protocol = 6	TCP/UDP segmentin pituus

Auttaa havaitsemaan väärään osoitteeseen toimitetut paketit.

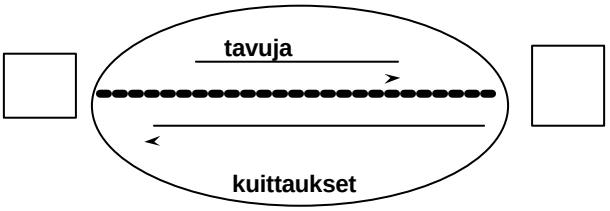
Sisältää IP-otsakkeen tietoja!

- **Optiokenttä** (options)
  - voidaan lisätä piirteitä, joita ei ole varsinaisessa otsakkeessa
    - suurin hyväksyttävä datakenttä
    - ikkunan koon moninkertaistaminen (window scale)
      - nopeille ja pitkän viipeen linjoille 64 ktavun ikkunan koko on liian pieni
    - valikoivan toiston käyttö ‘go back N’:n tilalla
      - vähentää turhia uudelleenlähetyksiä

3.6. TCP:n ruuhkan valvonta

- Liikaa kuormitusta => verkko ruuhkautuu => hidastetaan lähettämistä
- Ruuhkan havaitseminen
  - nykyisin siirtovirheet harvinaisia
    - poikkeuksena langattomat verkot
  - => uudelleenlähetykset johtuvat ruuhkasta
    - uudelleenlähetysajastimen laukeaminen on merkki ruuhkasta

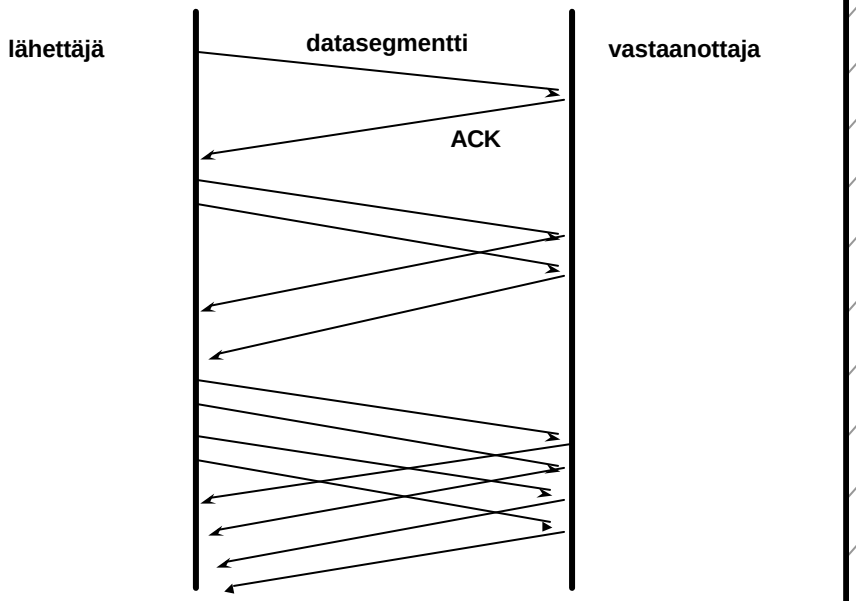
- ruuhkaikkuna
  - "paljonko tavuja (segmenttejä) lähettäjällä saa korkeintaan olla verkossa liikkeellä"
  - kuittaus => ko. tavut jo poistuneet verkosta



- Ruuhkaikkunan koko?
  - Lähettäjän on itse pääteltävä ja arvioitava sopiva ruuhkaikkunan koko
    - kukaan muu ei sitä kerro!
    - timeout => on ruuhkaa
    - kuittaukset tulevat tasaisesti => ei ole ruuhkaa
- Dynaaminen ruuhkaikkunan koko:
  - ruuhkaikkunaa kasvatetaan kunnes törmätään ruuhkaan
  - sen jälkeen ruuhkaikkunaa pienennetään reilusti
  - ja aletaan uudestaan kasvattaa ruuhkaikkunaa

Hitaan aloituksen algoritmi (slow start)

- Algoritmi pyrkii löytämään sopivan ikkunan koon yhteyden alussa tai ruuhkatilanteen jälkeen mahdollisimman nopeasti
  - ei ole niin kovin hidas, vaan alussa eksponentiaalinen!
  - alussa ruuhkaikkuna = yksi segmentti
  - kuitattu ruuhkaikkunallinen kasvattaa ruuhkaikkunan kaksinkertaiseksi



- kynnysarvo (threshold)
  - ‘varoitusarvo’ = tästä lähtien syytä varoa ruuhkaa
  - aluksi 64 K
  - kynnysarvoon saakka voidaan kasvattaa ruuhkaikkunaa eksponentiaalisesti
  - kynnysarvon saavuttamisen jälkeen kasvatetaan ruuhkaikkunaa vain lineaarisesti
    - = kasvatetaan kuittausten jälkeen vain yhdellä
    - edetään hyvin varovaisesti!

- jos ajastin ehtii laueta => ruuhkatilanne
  - kynnysarvoksi puolet nykyisestä ruuhkaikkunan arvosta
  - hitaalla aloituksella etsitään taas uusi sopiva ruuhkaikkunan arvo
    - ruuhkaikkunan arvoksi 1 segmentti
    - ruuhkaikkunaa kasvatetaan aluksi eksponentiaalisesti eli kaksinkertaistetaan kun ikkunallinen on kuitattu
  - kynnysarvon saavuttamisen jälkeen kasvatetaan vain segmentti kerrallaan
  - kunnes taas havaitaan ruuhka ja aloitetaan ruuhkaikkunan uuden arvon etsiminen

Uudelleenlähetysjastimen hallinta

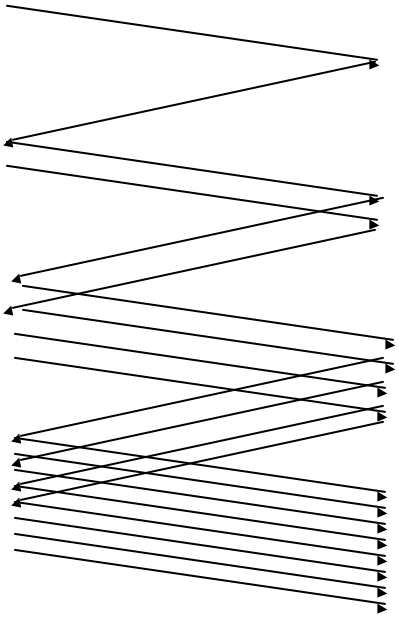
- uudelleenlähetysajastin (retransmission timer)
  - asetetaan aina kun segmentti lähetetään
  - ruuhkaa, jos kuittaus ei saavu ajoissa
- mikä on sopiva ajastimen aika?
  - kuittaus aika vaihtelee suuresti
  - vaihtelu on myös nopeaa
- dynaaminen arvo
  - saadaan jatkuvien verkon suorituskykymittauksien perusteella

- RTT
  - arvio kiertoviiveelle (round-trip time)
  - mitataan jokaisen lähetetyn segmentin kiertoviive M

    RTT = αRTT + (1-α)M, tyypillisesti α = 7/8
- uudelleenlähetysajastimen arvo βRTT
  - aluksi β oli aina 2
  - parannus: otetaan huomioon myös poikkeama D (deviation) oletetun ja saadun kiertoviiveen välillä |RTT-M|

    D = α D + (1- α)|RTT-M|
  - ajastimen arvo = RTT +4*D

- uudelleenlähetysten vaikutus ajastimeen
  - kumpaan segmenttiin kuittaus kohdistuu?
- Karnin algoritmi
  - ei oteta huomioon uudelleenlähettyjen segmenttien kuittauksia RTT:n laskemisessa

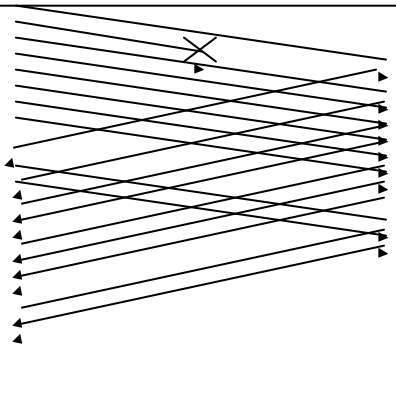


Hidas aloitus:

Lähetysmäärä kasvaa

eksponentiaalisesti

Ikkuna täyttyy ja lähettäjän täytyy odottaa kunnes kadonneen sanoman ajastin laukeaa



Hidas aloitus:

segmentti katoaa ja kuittausta ei tule

=> kadonneen segmentin ajastin laukeaa aikanaan

Sitten aloitetaan taas hitaalla aloituksella