12. Liikenteen- ja ruuhkanhallinta Internetissä

Sisältö

- Johdanto
- IP-verkot
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta Internetissä
- TCP ruuhkanhallinta
- QoS arkkitehtuurit

Liikenteenhallinta

- Liikenteellisiä ongelmia:
  - Liikenne on luonteeltaan satunnaista (vaihdellen ennustamattomasti)
    - ajoittain verkossa syntyy ruuhkaa (congestion)
  - Liikennelähteet voivat käyttäytyä “huonosti” (pyrkien saamaan käyttöönsä enemmän kuin “reilun” osuuden verkon resursseista)
- Liikenteenhallintaa (traffic management) tarvitaan, jotta
  - verkko saavuttaisi halutut laatu- ja suorituskykytavoitteet
  - verkko pystyisi suojaamaan itsensä ja muut käyttäjät huonosti käyttäytyviä lähteitä vastaan
- Verkon suojaamiseen ruuhkatilanteilta on kaksi lähestymistapaa:
  - **ennakoivat** (proactive) menetelmät, joilla pyritään ennalta välttämään ruuhkan syntyminen
  - **reagoivat** (reactive) menetelmät, joilla pyritään lievittämään ruuhkasta aiheutuvia ongelmia ja poistamaan koko ruuhka

Internet

- Erittäin laajalle levinnyt
  - tulee työpöydälle asti
  - tietokoneisiin ja niiden sovellutuksiin on rakennettu tarvittava protokollatuki
- Juuret yhteydettömään pakettiverkko- ja reititintekniikkaan perustuvassa tietokoneiden välisessä kommunikaatiossa (ARPANET)
- Alunperin tarkoitettu ei-reaaliaikaisten viestien välittämiseen
  - tiedostojen siirto
  - tietokoneiden etäkäyttö
  - sähköposti
- Palvelun laatu on tässä maailmassa ollut perinteisesti tuntematon käsite
  - palvelua on tarjottu ”best effort” -periaatteella
- Uudet palveluarkkitehtuurit (DiffServ, IntServ) kuitenkin pyrkivät eriytettyyn palvelun laatuun

Vuot

- Vuo on verkkokerroksessa (siis reitittimissä) havaittu approksimaatio ylempien kerrosten liikenteestä
- **Vuo** (flow) = sarja peräkkäisiä ja toisiinsa kuuluvia IP-paketteja, joilla sama lähde ja määränpää
  - Karkeassa luokittelussa huomioidaan vain lähde- ja määränpääosoite, hienommassa luokittelussa voidaan erotella esim. eri ylemmät protokollat (esim. TCP, UDP, HTTP, FTP, ...)
  - Peräkkäiset vuot erotetaan toisistaan ajastimella: peräkkäiset paketit kuuluvat samaan vuohon vain, jos niiden ajallinen etäisyys on tarpeeksi pieni
  - Huom. Vuon määritelmä on hyvin joustava. Se, miten vuot käytännössä pitäisi luokitella, on oma taiteenlajinsa:
    - karkeuden (granularity) valinta
    - ajastuksen (timeout) valinta

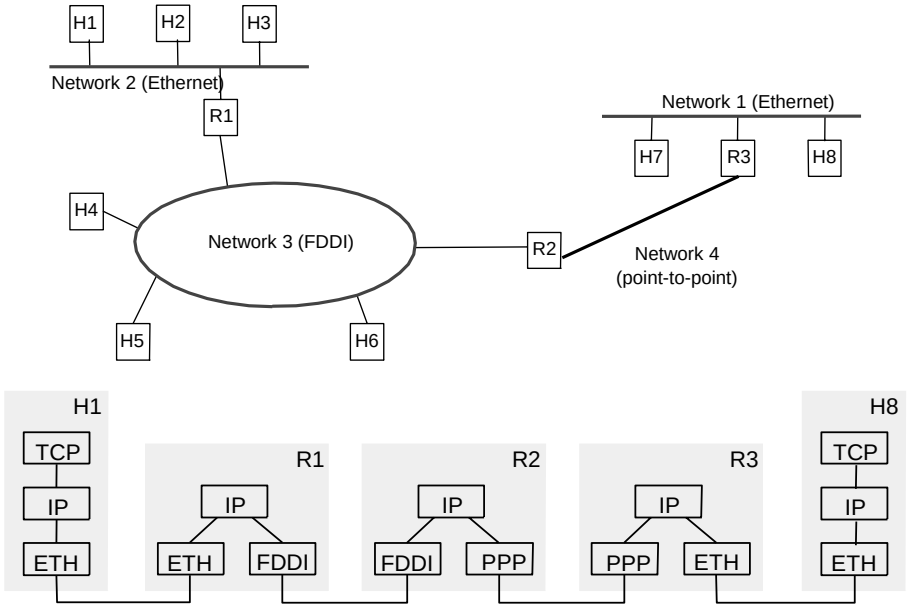
Palvelun laatu

- Palvelun laatua voidaan tarkastella sekä vuo- että pakettitasolla
- **Vuotasolla** voidaan toisaalta ottaa
  - **kokonaisvaltainen näkökulma**, jolloin
    - tehokkuuden kannalta tärkeää on verkon **kokonaisläpäisy** (throughput), mutta
    - toisaalta myös resurssien jaon **oikeudenmukaisuus** (fairness), tai
  - **vuokohtainen näkökulma**, jolloin
    - elastiselle liikenteelle tärkein laatutekijä on **läpäisy** (throughput) tai oikeammin **hyödyllinen läpäisy** (goodput)
- **Pakettitasolla**
  - virtaavalle reaaliaikaiselle liikenteelle tärkein laatutekijä on pakettien **päästä-päähän viive** ja **vaihtelut** tässä viiveessä, sen sijaan yksittäisten pakettien katoaminen tai korruptoituminen ei ole niin vaarallista
  - elastiselle liikenteelle ja transaktioille (ts. yksittäisille paketeille) oleellisinta on **pakettien menetyssuhteen** pysyminen vähäisenä

Sisältö

- Johdanto
- IP-verkot
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta Internetissä
- TCP ruuhkanhallinta
- QoS arkkitehtuurit

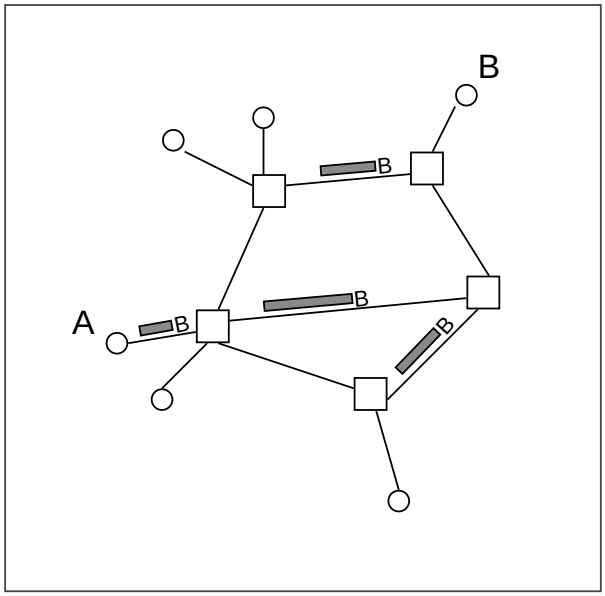
IP-protokollapino



Lähde: [2]

IP

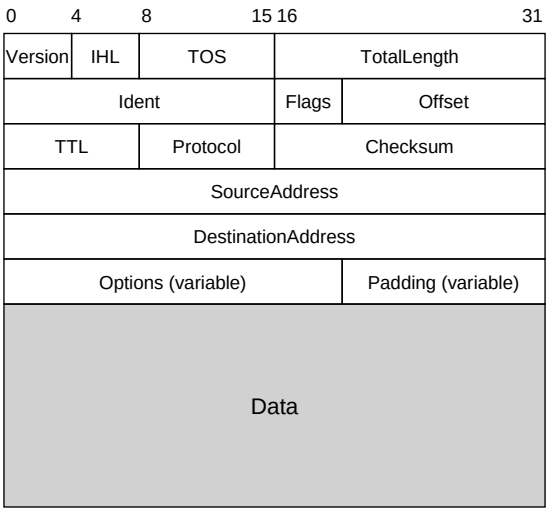
- **IP** = Internet Protocol
- **Yhteydetön**:
  - ei yhteydenmuodostusta
  - ei resurssien varausta
- Informaation siirto **diskreetteinä paketteina**
  - vaihtelevanmittaisia
  - sisältää otsikon, jossa mm. kohteen globaali osoite
- **Best Effort** –palvelumalli
  - verkon solmut, reitittimet, toimittavat paketteja eteenpäin "parhaan kykynsä mukaan"
  - paketteja saattaa kadota, ne voivat viivästyä, tai niiden järjestys saattaa muuttua



⇒ "älykkyys" implementoitava verkon reunalle, päätelaitteisiin

IP-paketti

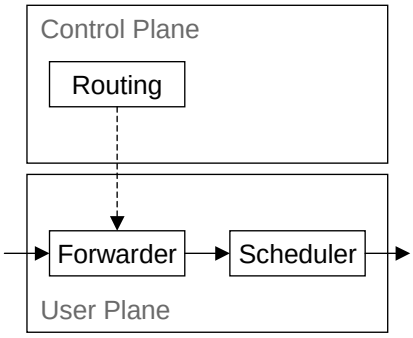
- IP-paketti = **tietosähke** (datagram)
  - vaihtelevanpituinen (4 tavun monikerta)
  - **Otsikko** (väh. 20 tavua) [RFC791]:
    - **Version**: nykyinen versio 4
    - **IHL**: otsikon pituus
    - **TOS**: pakettien priorisointiin
    - **TotalLength**: kokonaispituus
    - **Ident**, **Flags**, **Offset**: pirstoutumiseen
    - **TTL**: jäljelläoleva elinikä hyppyinä
    - **Protocol**: kertoo ylemmän tason protokollan, esim. TCP (6), UDP (17)
    - **Checksum**: otsikon virheettömyyteen
    - **SourceAddress**, **DestinationAddress**: lähteen ja määränpään globaalit Internet-osoitteet



IP header	Data

IP-pakettien käsittelymekanismit BE-reitittimissä

- Pakettien **toimitus eteenpäin** (forwarding):
  - reitittimen prosessi, joka
    - valitsee paketin sisääntulopuskurista,
    - tutkii sen määränpääosoiteen,
    - katsoo reititystaulusta ko. osoitetta vastaavan ulosmenon,
    - ja vie ko. paketin ko. ulosmenopuskuriin
- Pakettien **skedulointi** (scheduling)
  - reitittimen prosessi, joka
    - valitsee paketin ulosmenopuskurista ja
    - käynnistää sen lähetyksen ulosmenolinkillä
  - tavallisin skedulointialgoritmi: **FIFO**
- Vrt. **reititys** (routing):
  - hajautettu prosessi, jolla luodaan reitittimien reititystaulut (routing table)



Reititys

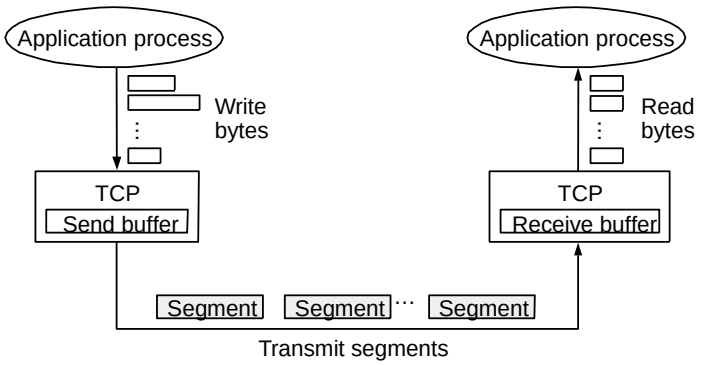
- Internet jakaantuu **hallintapiireihin** (routing domain)
- Reititysongelma voidaan jakaa hierarkkisesti
  - yhden piirin sisällä (intradomain) pyritään löytämään **optimaaliset reitit**
    - etsi edullisin reitti minkä tahansa kahden saman piirin solmun välillä, kun ko. piirin topologia ja linkkien kustannukset tunnetaan
    - tähän ongelmaan on esitetty erilaisia algoritmeja
      - **Bellman-Ford**-algoritmissa solmut kertovat naapureilleen etäisyydet kaikkiin muihin piirin solmuihin, esim. **RIP**
      - **Dijkstra**-algoritmissa solmut kertovat kaikille muille piirin solmuille etäisyytensä naapurisolmuihin, esim. **OSPF**
    - yleensä linkin kustannukseksi (so. kahden naapurisolmun etäisyydeksi) valitaan 1, jolloin optimireitit minimoivat tarvittavien hyppyjen lkm:n
  - eri piirien välillä (interdomain) tärkeintä on selvittää **saavutettavuus**
    - etsi jokin reitti minkä tahansa kahden piirin välillä, kun piirien välinen topologia tunnetaan
    - esim. **BGP**

Kuljetuskerroksen päästä-päähän protokollat

- Verkkokerroksen (IP) päällä on kuljetuskerros, joka hoitaa IP-pakettien käsittelyn päätelaitteissa. Tähän on käytössä kaksi eri protokollaa.
- **TCP** = Transmission Control Protocol
  - **yhteydellinen**
  - tarkoitettu elastiselle, ei-reaaliaikaiselle liikenteelle
  - ei absoluuttisia QoS takeita, mutta takaa luotettavan tavupohjaisen tiedonsiirron
  - liikenteen valvontaan kehitetty oma vuonohjaus/ruuhkanhallintamenettely, joka perustuu adaptiivisen liukuvan ikkunan käyttöön
- **UDP** = User Datagram Protocol
  - **yhteydetön**
  - soveltuu erityisesti transaktioille (interaktiiviselle liikenteelle, jossa siirrettävät sanomat tyypillisesti lyhyitä)
  - soveltuu myös (paremman puutteessa) virtaavalle, reaaliaikaiselle liikenteelle, jolloin UDP:n päällä tarvitaan vielä muita protokollia, esim. RTP
  - ei minkäänlaisia QoS takeita

TCP

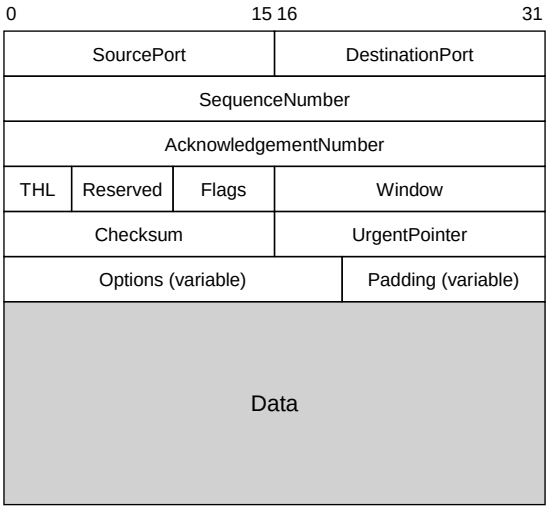
- **TCP** = Transmission Control Protocol
  - **yhteydellinen** kuljetuskerroksen päästä-päähän protokolla
  - IP:n päällä luotettava tavuvirran (reliable byte stream) siirto
    - pakettien perillemeno oikeassa järjestyksessä varmistetaan kuittauksin ja uudelleenlähetyksin
    - **vuonohjaus** (flow control): estää ylikuormittamasta vastaanottajan
    - **ruuhkanhallinta** (congestion control): estää ylikuormittamasta verkon



Lähde: [2]

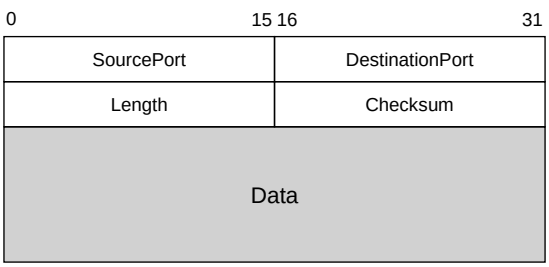
TCP-paketti

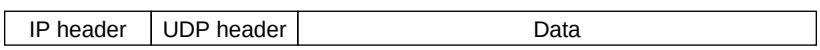
- TCP-paketti = **lohko** (segment)
  - vaihtelevanpituinen (4 tavun monikerta)
  - kuljetetaan läpi verkon IP-paketissa
  - **Otsikko** (väh. 20 tavua) [RFC793]:
    - **SourcePort**, **DestinationPort**: lähettäjän ja vastaanottajan identifiointiin
    - **SequenceNumber**: lähetettävän lohkon ensimmäisen tavun indeksi
    - **AcknowledgementNumber**: seuraavaksi vastaanotettavan tavun indeksi
    - **THL**: otsikon pituus
    - **Flags**: lipuilla kerrotaan esim. yhteyden avauksesta ja lopetuksesta
    - **Window**: seuraavaksi vastaanotettavien tavujen kokonaismäärä
    - **Cheksum**: pakollinen, sisältäen datan, TCP-otsikon ja IP-osoitteet



UDP

- **UDP** = User Datagram Protocol
  - **yhteydetön** kuljetuskerroksen päästä-päähän protokolla
  - IP:n päällä vain multipleksointipalvelu
    - ei takeita pakettien perillemenosta (siis epäluotettava)
    - ei vuonohjausta (flow control): voi ylikuormittaa vastaanottajan
    - ei ruuhkanhallintaa (congestion control): voi ylikuormittaa verkon
- UDP-paketti = **tietosähke** (datagram)
  - vaihtelevanpituinen (4 tavun monikerta)
  - kuljetetaan läpi verkon IP-paketissa
  - **Otsikko** (8 tavua) [RFC768]:
    - **SourcePort**, **DestinationPort**: lähettäjän ja vastaanottajan identifiointiin
    - **Length**: kokonaispituus
    - **Checksum**: optionaalinen, sisältäen datan, UDP-otsikon ja IP-osoitteet





Sisältö

- Johdanto
- IP-verkot
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta Internetissä
- TCP ruuhkanhallinta
- QoS arkkitehtuurit

Liikenteen- ja ruuhkanhallintamekanismit eri aikaskaaloissa

Response time:	**Proactive** methods:	**Reactive** methods:
Long term (hours - days)	**-** Routing algorithm **-** MPLS Traffic Engineering	
Connection duration (secs - mins)		
RTT (ms - secs)	**-** TCP Vegas congestion avoidance	**-** TCP flow control **-** TCP congestion control
Packet handling time (µs - ms)	**-** Scheduling **-** Active queue management	**-** Queue management

source based methods

router based methods

Lähteissä toteutetut menetelmät

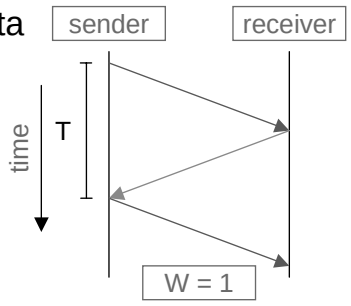
- **TCP vuonohjaus** (flow control)
  - estää lähdettä ylikuormittamasta vastaanottajan
  - menetelmänä adaptiivinen liukuva ikkuna
    - vastaanottaja kertoo, montako tavua hän on valmis vastaanottamaan
- **TCP ruuhkanhallinta** (congestion control)
  - estää lähdettä ylikuormittamasta verkon solmuja
  - menetelmänä adaptiivinen liukuva ikkuna
    - verkosta **ei** tule suoraan tietoa, montako tavua lähde voi lähettää
    - sen sijaan lähteen on itse pääteltävä, milloin verkko on ruuhkainen
    - tällaisen signaalin antaa paketin katoaminen
      - paketin kadotessa ikkunaa pienennetään
      - muutoin sitä kasvatetaan (verkon tilan tunnustelemiseksi)
- **TCP Vegas ruuhkanvälttäminen** (congestion avoidance)
  - tavoitteena voiden pakettien lukumäärän rajoittaminen pullonkaulalinkeissä (ja sitä kautta ruuhkan ennaltaehkäiseminen)
  - ikkunan kokoa hallitaan vertaamalla toteutunutta ja lyhyintä kiertoaikaa

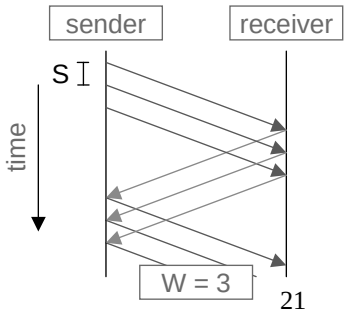
Reitittimissä toteutetut menetelmät

- **Pakettien skedulointi** (scheduling)
  - seuraavaksi lähetettävän paketin valinta
  - **FIFO** (First In First Out): paketit lähetykseen saapumisjärjestyksessä
  - **vuopohjaiset menetelmät** (kullekin aktiiviselle vuolle oma jono)
    - **reilu jonotus** (Fair Queueing, FQ): eri voiden paketit lähetykseen tasapuolisesti
    - **painotettu reilu jonotus** (Weighted Fair Queueing)
  - **prioriteettipohjaiset menetelmät**
- **Jononhallinta** (queue management)
  - poistettavan paketin valinta jonon täyttyessä
  - **häntäpudotus** (Tail Drop): saapuva paketti hylätään
  - **satunnaispudotus** (Random Drop)
- **Aktiivinen jononhallinta** (active queue management)
  - pakettien satunnainen poistaminen jo ennen jonon täyttymistä
  - ehkäisee ruuhkan syntymistä ja TCP-lähteiden synkronoitumista
  - esim. **RED** (Random Early Detection)

Liukuva ikkuna

- Luotettavan tiedonsiirron takaamiseksi lähetetty data pitää **kuitata** (acknowledge). Pakettien katoamisen varalta tarvitaan myös **aikavalvontaa** (timeout) ja **uudelleenlähetyksiä** (retransmission).
- Yksinkertainen menetelmä: **stop-and-wait**
  - uusi paketti lähetetään, kun edellinen on kuitattu
  - ongelma: linkin matala käyttöaste
- Tehokkaampi: **liukuva ikkuna** (sliding window)
  - ikkunan koko W kertoo, montako kuittaamatonta pakettia voi korkeintaan olla lähetettynä
    - stop-and-wait: W = 1
  - ikkunan koko W yhdessä kiertoajan T ja paketin lähetysajan S kanssa määrää lähetysnopeuden R:
    - R = min{1/S, W/T}
  - ikkunalla on siis efektiivinen yläraja: $W \leq T/S$ (eli kiertoajan T ja kaistan 1/S tulo)



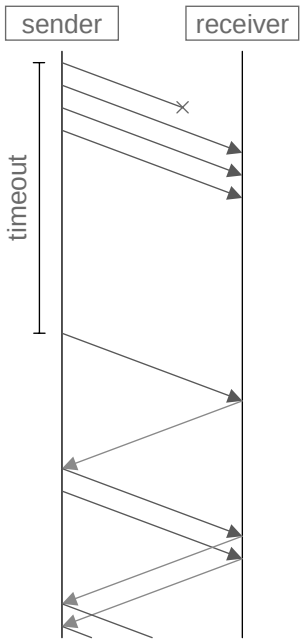


Adaptiivisen liukuvan ikkunan käyttö vuonohjaukseen

- Liukuvaa ikkunaa voidaan käyttää vuonohjaukseen.
- Jos vastaanottaja tyhjentää puskuriaan vakionopeudella C, niin lähetysikkunalla on yläraja $W \leq CT$, joka estää lähdettä ylikuormittamasta vastaanottajan.
- Jos vastaanottaja tyhjentää puskuriaan epäsäännöllisemmin, niin vastaanottajan on eksplisiittisesti kerrottava, kuinka monta pakettia se on valmis vastaanottamaan kullakin hetkellä, ts. kuinka paljon sen puskuriin juuri sillä hetkellä mahtuu paketteja.
  - TCP vuonohjauksessa tämä tieto kulkee (tosin tavuina) kuittaavan TCP-paketin Window-kentässä

Adaptiivisen liukuvan ikkunan käyttö ruuhkanhallintaan

- Liukuvaa ikkunaa voidaan käyttää myös ruuhkanhallintamenetelmänä
  - Tavoitteena on sovittaa ikkunan koko W vastaamaan kyseiselle vuolle (juuri sillä hetkellä) verkossa käytettävissä olevaa kaistaa C ja kiertoaikaa T, ts. W = CT
  - Tehtävää vaikeuttaa tietysti se, että sekä C että T vaihtelevat satunnaisesti, eikä niitä mikään taho ilmoita lähteelle (saati sitten täsmällistä ylärajaa ikkunalle)
  - Lähde voi kuitenkin epäsuorasti saada tietoa ruuhkasta tekemällä havaintoja pakettien katoamisesta, esim. uudelleenlähetysajastimen laukeaminen viittaisi tällaiseen tilanteeseen
    - Paketin kadotessa pitää lähetysikkunan kokoa tietysti pienentää (eli pudottaa lähetysnopeutta)
    - Toisaalta taas paketin mennessä läpi voidaan ikkunaa kasvattaa (eli kasvattaa lähetysnopeutta)
  - TCP ruuhkanhallinta käyttää näitä ideoita



Sisältö

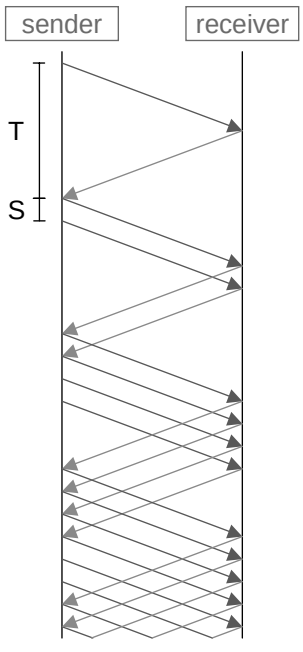
- Johdanto
- IP-verkot
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta Internetissä
- TCP ruuhkanhallinta
- QoS arkkitehtuurit

TCP ruuhkanhallinta

- Alkuperäinen TCP [RFC793] (1981) käytti adaptiivista liukuvan ikkunan menetelmää (adaptive sliding window) vain vuonohjaukseen
  - Tämän seuraksena Internet kaatui aika-ajoin (congestion collapse): uudelleenlähetykset tukkivat verkon
- Jacobsonin (1988) ehdotuksesta adaptiivista liukuvan ikkunan menetelmää ruvettiin käyttämään myös ruuhkanhallintaan.
  - Tällöin TCP:hen lisättiin seuraavat ruuhkanhallintamekanismit:
    - **hidas aloitus** (slow start)
    - **ruuhkan välttäminen** (congestion avoidance)
    - **nopea uudelleenlähetys** (fast retransmit)
  - Tätä versiota kutsutaan **TCP Tahoeksi**
- Myöhemmin Jacobson (1990) ehdotti vielä joitakin lisämuutoksia.
  - Tällöin TCP-ruuhkanhallintaan lisättiin vielä
    - **nopea toipuminen** (fast recovery)
  - Tätä versiota kutsutaan **TCP Renoksi**
- TCP-ruuhkanhallintamekanismit on koottu RFC2581:een (1999)

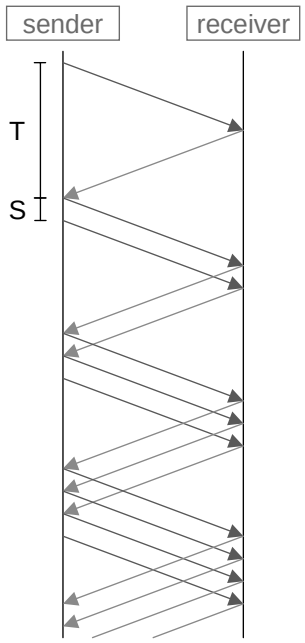
Slow Start

- Koska alkuperäisessä TCP:ssä liukuvaa ikkunaa käytettiin vain vuonohjaukseen, saattoi yhteyden alussa lähteä verkkoon suurikin purske paketteja.
  - Tällöin tietysti oli suuri vaara pakettien katoamiselle (reitittimien puskureiden vuotaessa yli).
  - Aikavalvontarajan (timeout) ylittyessä tehdyt uudelleenlähetykset vain pahensivat ruuhkaa.
- Jacobson (1988) havaitsi, että saavuttaakseen tasapainon lähteen pitää tunnustella käytettävissä olevaa kaistaa sulavasti
- Menetelmänä on aloittaa lähetys varovaisesti (cwnd = 1). Tästä nimi **hidas aloitus** (slow start). Ruuhka-ikkunan (cwnd) kasvatus tämän jälkeen tapahtuu kuitenkin eksponentiaalisti: jokainen kuittaus kasvattaa ikkunaa yhdellä, eli kiertoajan kuluessa saatu ikkunallinen kuittauksia tuplaa ikkunan koon.



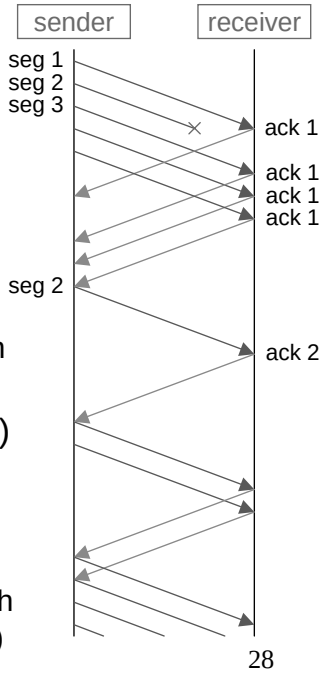
Congestion Avoidance

- Toinen Jacobsonin (1988) tekemä havainto liittyi tasapainotilanteen ylläpitämiseen
- Menetelmänä on siirtyminen hitaasta aloituksesta **ruuhkan välttämiseen** (congestion avoidance), kun ruuhkaikkunan (cwnd) koko on kasvanut ”tarpeeksi”
  - tätä kynnystäkin (ssthresh) vaihdellaan dynaamisesti
- Ruuhkan välttämisvaiheessa
  - ikkunaa kasvatetaan lineaarisesti: kiertoajan kuluessa saatu ikkunallinen kuittauksia kasvattaa ikkunaa yhdellä paketilla
- Mutta uudelleenlähetysajastimen lauetessa
  - kadonneeksi tulkittu paketti lähetetään uudelleen ja
  - kynnys asetetaan ruuhkaikkunan puolikkaaksi (ssthresh = cwnd/2) ja siirrytään hitaaseen aloitukseen (cwnd = 1)
- Tätä menetelmää kutsutaan myös **AIMD**:ksi (additive increase, multiplicative decrease)



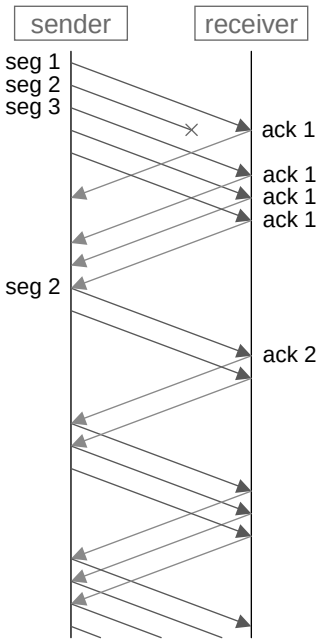
Fast Retransmit

- Kolmas Jacobsonin (1988) havainto liittyi pakettien katoamisten (jotka siis tulkitaan indikaatioksi ruuhkasta) havainnointiin:
  - paitsi ajastimen laukeaminen, myös useampi peräkkäinen saman lähetetyn paketin kuittaus (ts. peräkkäisten kuittaavien TCP-pakettien AcknowledgementNumber-kenttien pysyminen samana) voidaan kohtalaisella varmuudella tulkita paketin katoamiseksi
  - kahdentunut kuittaus saattaa tosin liittyä myös pakettien järjestyksen vaihtumiseen (ilman katoamisia)
- **Nopeassa uudelleenlähetyksessä** (Fast Retransmit) kolmas peräkkäinen kahdentunut kuittaus tulkitaan paketin katoamiseksi, jolloin
  - kadonneeksi tulkittu paketti lähetetään uudelleen ja
  - kynnys asetetaan ruuhka-ikkunan puolikkaaksi (ssthresh = cwnd/2) ja siirrytään hitaaseen aloitukseen (cwnd = 1) [TCP Tahoe]



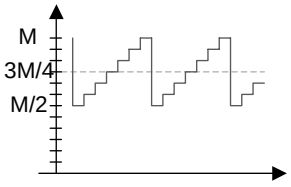
Fast Recovery

- Myöhemmin Jacobson (1990) vielä havaitsi, että
  - paketin kadotessa on turhaa tehdä hidas aloitus, jos lähde on jo päässyt lähelle tasapainoa
  - kolmannen tuplakuittauksen tullessa, saattaa muitakin kuittauksia olla vielä tulossa, jotka ilmaisevat tasapainoisen lähetysnopeuden
- **Nopeassa toipumisessa** (Fast Recovery) kolmannen tuplakuittauksen jälkeen ei siirrytäkään hitaaseen aloitukseen, vaan pelkästään
  - puolitetaan ruuhkaikkuna (cwnd = ssthresh = cwnd/2) [TCP Reno]



Lähetysnopeuden riippuvuus pakettikadosta tasapainossa

- Tarkastellaan TCP Renon ruuhkan välttämisvaihetta.
  - jos paketti ei katoa, ikkunaa kasvatetaan lineaarisesti
    - W = W + 1 kiertoajan T välein
  - jos paketti katoaa, niin ikkuna puolitetaan
    - W = W/2



- Yksinkertaisuuden vuoksi oletetaan kiertoaika T vakioksi. Tavoittena on laskea lähetysnopeus R tasapainotilanteessa.
  - Oletetaan (jälleen yksinkertaisuuden vuoksi), että yksi paketti katoaa aina, kun ikkuna kasvaa “liian suureksi”, tarkemmin sanottuna kun W = M
  - Tällöin ikkunan W koko vaihtelee jaksollisesti
    - W = M, M/2, M/2 +1, M/2 + 2, …, M, M/2, M/2 +1, M/2 + 2, …
  - Katoamisjakso kestää M/2 +1 kiertoaikaa ja sen aikana lähetetään keskimäärin 3M/4 pakettia kiertoajassa
    - Keskimääräiseksi lähetysnopeudeksi tulee R = (3M)/(4T)
    - Pakettikadoksi tulee (likimain) $p = 8/(3M^2)$
  - Siis $R = \sqrt{3}/(\sqrt{2}*\sqrt{p}*T)$ pakettia aikayksikössä

Sisältö

- Johdanto
- IP-verkot
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta Internetissä
- TCP ruuhkanhallinta
- QoS arkkitehtuurit

QoS arkkitehtuurit

- **Integroidut palvelut** (Integrated Services, **IntServ**)
  - määrittely IETF:ssä 1995-1997
  - **hienojakoinen** (fine grained)
    - vuokohtainen palvelun laatu, vrt. ATM-yhteydet
    - **absoluuttiset päästä-päähän laatutakeet** mahdollisia (pääsynvalvonta & resurssien varaus)
  - skaalautuvuusongelmia vuokohtaisen palvelun/kirjanpidon vuoksi
- **Eriytetyt palvelut** (Differentiated services, **DiffServ**)
  - määrittely IETF:ssä 1998-2000
  - yrittää ratkaista IntServin skaalautuvuusongelman niputtamalla voita runkoverkossa
  - **karkeajakoinen** (coarse grained)
    - staattiset palvelutasosopimukset (Service Level Agreement, SLA)
    - palvelun laatu määritellään aggregoidulle liikenteelle (ei siis yksittäisille voille vaan vuokimpuille)
    - vain **suhteelliset hyppykohtaiset laatutakuut**

IntServ

- **Palveluluokat** (Service Class)
  - **Taattu-palvelu** (Guaranteed Service), vrt. CBR
    - reaaliaikaisille lähteille, joilla ehdoton viivevaatimus
    - edellyttää pääsynvalvontaa, resurssien varausta ja pakettien priorisointia
  - **Kontrolloitu kuorma -palvelu** (Controlled Load Service), vrt. VBR
    - sopeutuville lähteille, jotka toimivat hyvin kunhan kuorma on rajoitettu
    - edellyttää pääsynvalvontaa ja palveluluokkien erottelua reitittimissä
- **Vuotason mekanismit**
  - **Voiden määrittely** (Flowspec)
    - liikenteen kuvaus (TSpec) ja palveluvaatimuksen kuvaus (RSpec)
  - **Pääsynvalvonta** (Admission control)
  - **Resurssien varaus** signaloimalla (Resource reservation protocol, RSVP)
- **Pakettitason mekanismit**
  - Pakettien **luokittelu** (classification) ja **priorisointi**
  - **Palveluokkien erottelu** skeduloimalla paketit vuokohtaisella WFQ:lla

DiffServ

- Ei palveluluokkia eikä absoluuttisia palvelun laatutakuita, vaan pakettien käsittelyluokat ja –mekanismit sekä suhteelliset laatutakuut
- **Pakettien käsittelyluokat** (Per Hop Behaviour, PHB)
  - **Joudutettu toimitus** (Expedited Forwarding, EF)
    - tavoittena lyhyet viiveet ja viiveenvaihtelut sekä alhainen pakettikato
    - toteutus antamalla ko. luokan paketeille ylin prioriteetti
  - **Varmistettu toimitus** (Assured Forwarding, AF)
    - kullekin AF-luokalle (max. 4) allokoidaan oma minimikaista
    - AF-luokan sisällä 3-tasoinen pakettien arvojärjestys (drop precedence)
- Monimutkaisemmat vuokohtaiset mekanismit **reunareitittimissä** (edge)
  - **Pakettien luokittelu** (classification) ja **merkkaus** (marking)
  - **Voiden valvonta: mittaus** (metering) ja **muotoilu** (shaping)
- Yksinkertaiset vuonippukohtaiset mekanismit **runkoreitittimissä** (core)
  - **Käsittelyluokkien erottelu** skeduloimalla paketit luokkakohtaisella WFQ:lla
  - Luokka- ja arvokohtaiset **jononhallintamekanismit**

Kirjallisuutta

1 W. Stallings (1998)
- "High-Speed Networks: TCP/IP and ATM design principles"
- Prentice-Hall, New Jersey

2 L.L. Peterson and B.S. Davie (2000)
- "Computer Networks – A Systems Approach", 2nd edition
- Morgan Kaufmann, San Francisco

3 V. Jacobson (1988)
- "Congestion Avoidance and Control"
- ACM SIGCOMM '88, Stanford, CA, August 1988

THE END