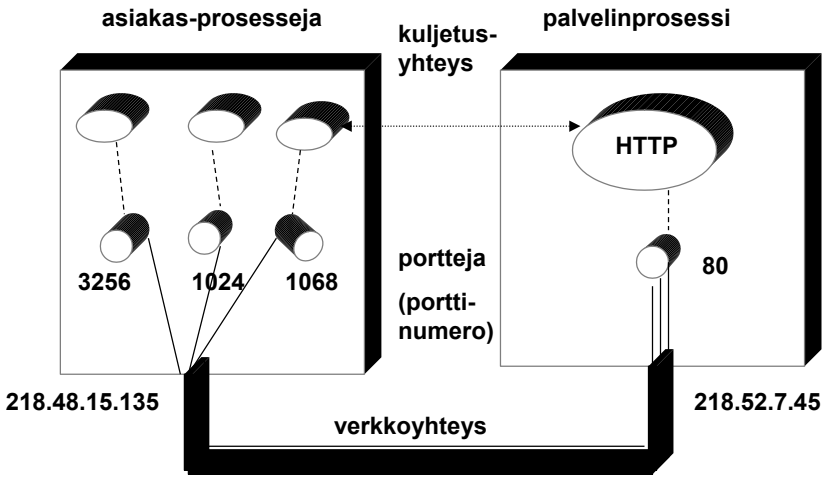
3. Kuljetuskerros

3.1. Kuljetuspalvelu

- **'End- to- end'**
  - **prosessilta prosessille looginen yhteys**
    - **portti**
  - **verkkokerros koneelta koneelle**
    - **IP-osoite**
- **peittää verkkokerroksen puutteet**
  - **jos verkkopalvelu ei ole riittävän hyvä, sitä voidaan parantaa kuljetuskerroksella**
    - **kuljetuskerros huomaa verkkokerroksen kadottamat paketit ja pyytää niiden uudelleenlähetystä**

Sovelluksien datavirtojen erottaminen

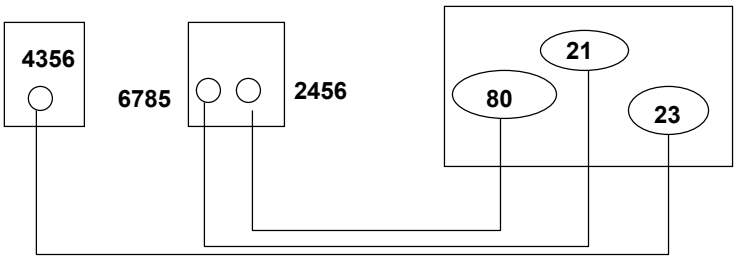
- **IP-osoite**
  - **osoittaa koneen yksikäsitteisesti**
- **Sovellusprosessi tunnistetaan porttinumerosta (16 bittiää =>0-65535)**
  - **jokaisessa lähetetyssä segmentissä on**
    - **lähettäjän porttinumero**
    - **vastaanottajan porttinumero**
- **Yleisillä palvelimilla omat varatut porttinumerot (0-1023)**
    - **SMTP 25, HTTP 80, jne**



Kuljetusyhteys on looginen prosessilta prosessille yhteys (end-to-end)

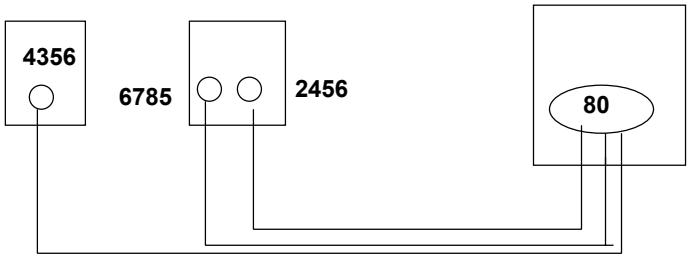
Palvelimilla kiinteät numerot yhteydenottoa varten

Asiakkaalle kuljetuskerros usein automaattisesti antaa käyttöön jonkin vapaan porttinumeron yhteyden ajaksi



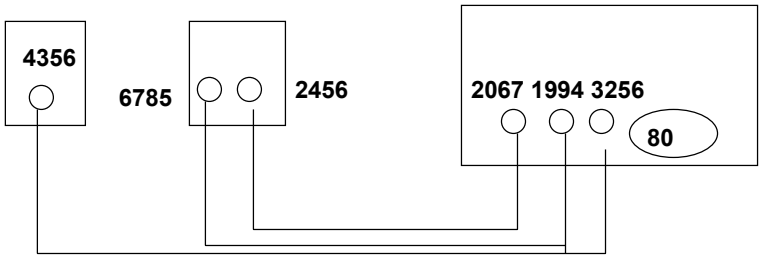
Kolme yhteyttä: 4356 <=> 23, 6785 <=> 21, 2456 <=>80

Tarvitaan sekä lähteen että kohteen porttinumerot



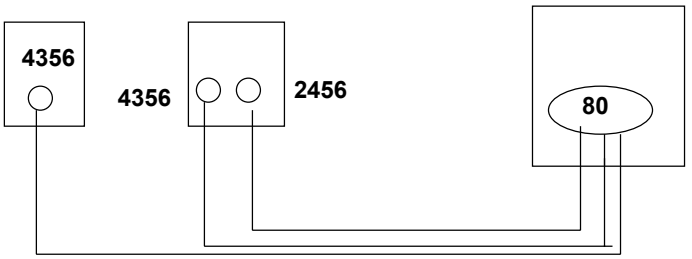
Kolme yhteyttä: 4356 <=> 80, 6785 <=> 80, 2456 <=>80

Palvelimessa yhteyksille uudet porttinumerot, jotta portti 80 voi ottaa vastaan uusia yhteyspyyntöjä



Kolme yhteyttä: 4356 <=> 3256, 6785 <=> 1994, 2456 <=>2067

Eri koneissa voidaan ottaa sama numero!



Kolme yhteyttä: 4356 <=> 80, 4356 <=> 80, 2456 <=>80!

Kuljetusyhteydellä käytetään apuna myös IP-osoitetta:

=> koneilla eri IP-osoitteet, joten yhteydet pystytään erottamaan

Sovelluksen vaatimuksia kuljetuspalvelulle:

- **Virheetön, luotettava**
- **järjestyksen säilyttävä**
- **kaksoiskappaleet karsiva**
- **mielivaltaisen pitkiä sanomia salliva**
- **vuonvalvonnan mahdollistava**

Verkkokerros kuitenkin voi

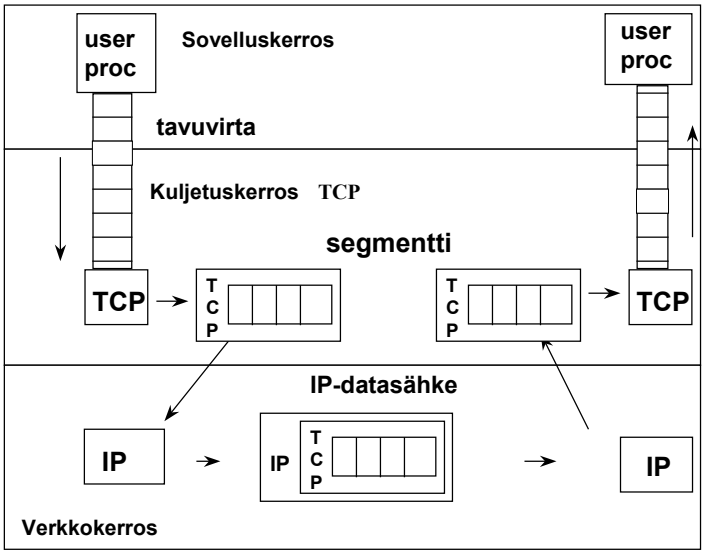
- **kadottaa sanomia**
- **toimittaa sanomat epäjärjestyksessä**
- **viivyttää sanomia satunnaisen pitkän ajan**
- **luovuttaa useita kopioita samasta sanomasta**
- **rajoittaa sanomien kokoa**

kuljetuspalvelut parantavat verkkopalveluja

Sovelluksen näkemä palvelun laatu (Quality of Service, QoS)

Internetin kuljetuskerros

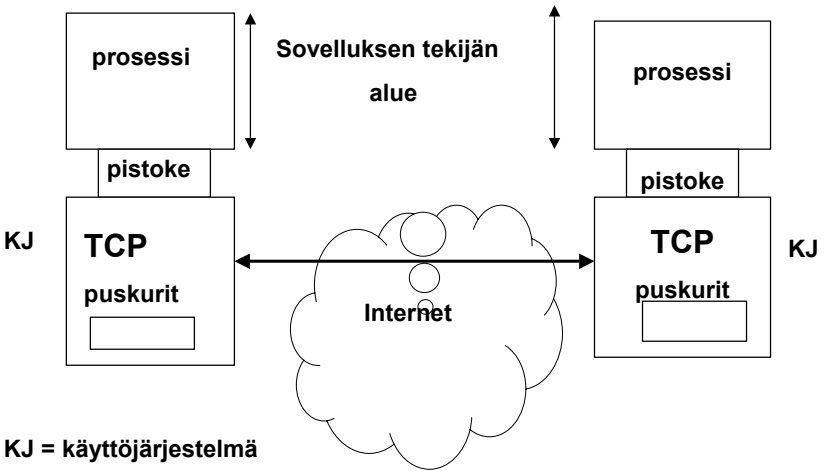
- **UDP (User Datagram Protocol)**
  - **yhteydetön, epäluotettava palvelu**
- **TCP (Transmission Control Protocol)**
  - **yhteydellinen, luotettava palvelu**
    - **virhevalvonta**
      - **havaitsee ja korjaa siirrossa syntyneet virheet**
    - **vuonvalvonta**
      - **ei ylikuormita vastaanottajaa**
    - **ruuhkanvalvonta**
      - **huolehtii ettei verkko pääse ruuhkautumaan**



TCP: prosessilta prosessille - tavuvirta

Pistokerajapinta (Socket interface)

- **Verkkopalvelun ja sitä käyttävän sovelluksen rajapinta**
  - **yleensä käyttöjärjestelmän tarjoama palvelu**
  - **pistokerajapinta alunperin Berkeley Unixin mukana, nyt lähes kaikissa käyttöjärjestelmissä**
  - **miten verkkoprotokollan tarjoamiin palveluihin päästään käsiksi sovelluksesta**

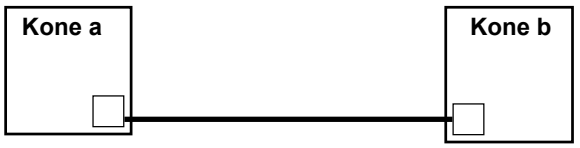


Prosessien kommunikointi TCP-pistokkeita käyttäen

- pistoke (socket)
  - TCP-yhteyden päätepiste sovellukselle
    - lähettäjällä ja vastaanottajalla oma pistoke
  - pistokenumero 48 bittiä
    - koneen 32 bitin IP-osoite
    - 16 bitin porttinumero

TCP-yhteys

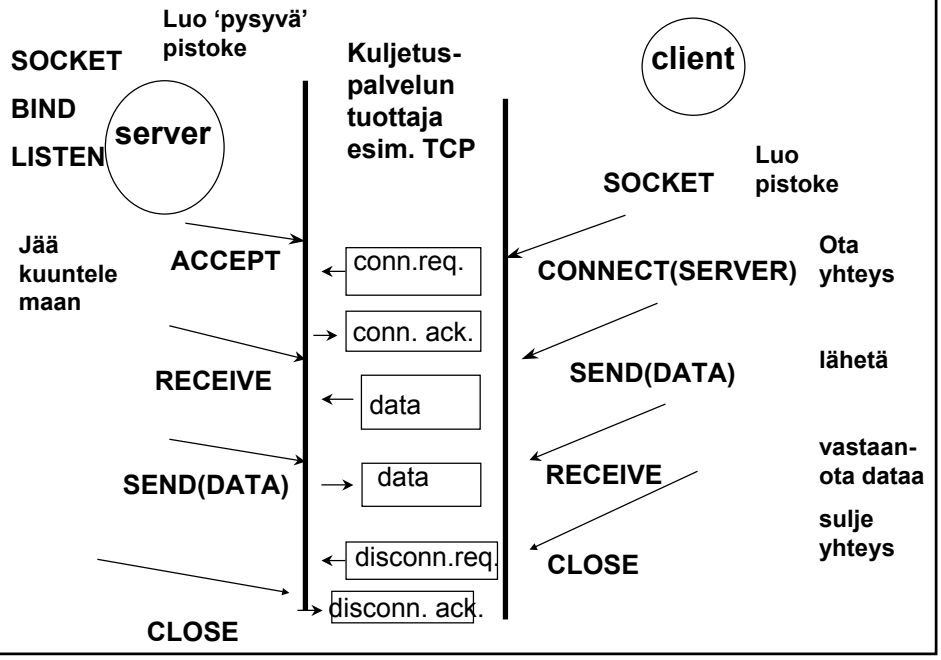
- **kaksisuuntainen (full-duplex) kaksipisteyhteys**
- **tunnistetaan päätepisteinä olevien pistokkeiden tunnuksista (pistoke1, pistoke2)**



TCP:n pistokeprimitiivit

- **SOCKET luo uusi yhteydenpäätepistepistoke**
- **BIND anna pistokkeelle osoite**
- **LISTEN halukas vastaanottamaan yhteyksiä**
- **ACCEPT jää odottamaan yhteysyrityksiä**
- **CONNECT yritä muodostaa yhteys**
- **SEND lähetä dataa yhteyttä pitkin**
- **RECEIVE vastaanota dataa yhteydeltä**
- **CLOSE pura yhteys (symmetrinen)**

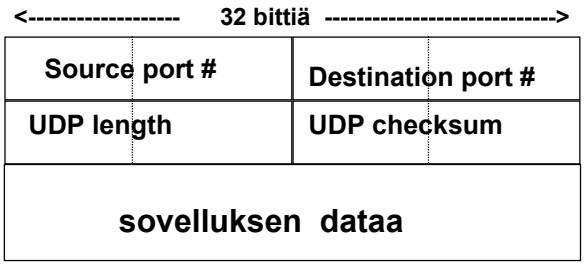
Kuljetusyhteyden muodostus ja käyttö



3.3 UDP

- **UDP** (User Data Protocol)
  - voidaan lähettää sanomia ilman yhteyden muodostusta

UDP-otsake



UDP-tarkistussumma

- **Virheen havaitsemista varten otsakkeeseen liitetään tarkistussumma**
  - **kaikki segmentin 16 bitin sanat lasketaan yhteen ja summasta otetaan yhden komplementti**
    - **= muutetaan ykköset nolliksi ja nollat ykkösiksi**
  - **vastaanottaja laskee taas kaikkien segmentin sanojen (mukana myös tarkistussumma) summan jos tulokseksi saadaan 16 ykköstä, niin ok!**

Esimerkki

- **Lasketaan tarkistussumma kolmen tavun mittaiselle sanomalle:**
- **Lähettäjä**

1011 0100
0111 0101
1000 1101
=========
1011 0110

⇩

0100 1001
Yhden komplementti

vastaanottaja

1011 0100	**1011 0100**	**1011 0100**
0111 0101	**0111 0101**	**1111 0101**
1000 1101	**1000 1101**	**1000 1101**
	0100 1001	**0100 1001**
	=========	**=========**
	1111 1111	**0111 1111**
	OK!	**VIRHE!**

- **Miksi tarvitaan tarkistussumma?**
  - **Kaikki siirtoyhteyskerrokset eivät suorita tarkistuksia**
- **UDP-tarkistussumma ei ole kovin tehokas havaitsemaan virheitä!**
- **Se ei myöskään yritä toipua virheistä!**
  - **Jotkut toteutukset voivat tuhota virheellisen segmentin**
  - **jotkut antavat se sovellukselle varoituksen kera**

UDP:n etuja:

- **Yhteydetön**
  - **aikaa ei kulu yhteyden muodostamiseen ja purkamiseen**
  - **ei tarvita resursseja yhteyden tilatietojen ylläpitoon**
- **Otsake (= 8 tavua) pieni => pieni yleisrasite => lisää tehokkuutta**
- **Ruuhkanvalvonta ei säännöstele liikennettä**

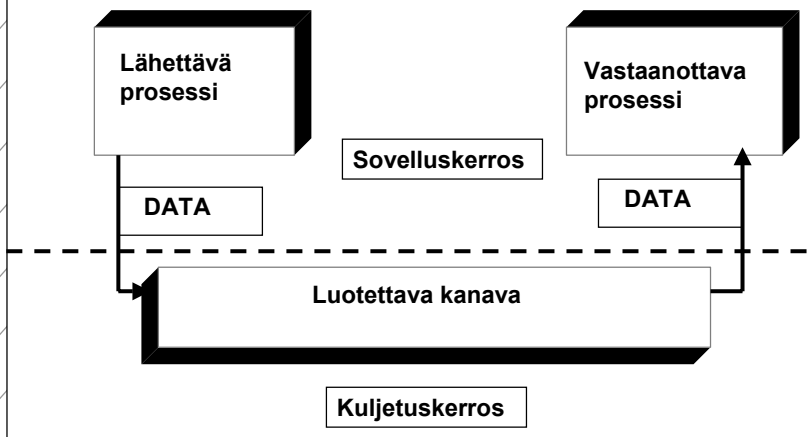
Tehtäviä:

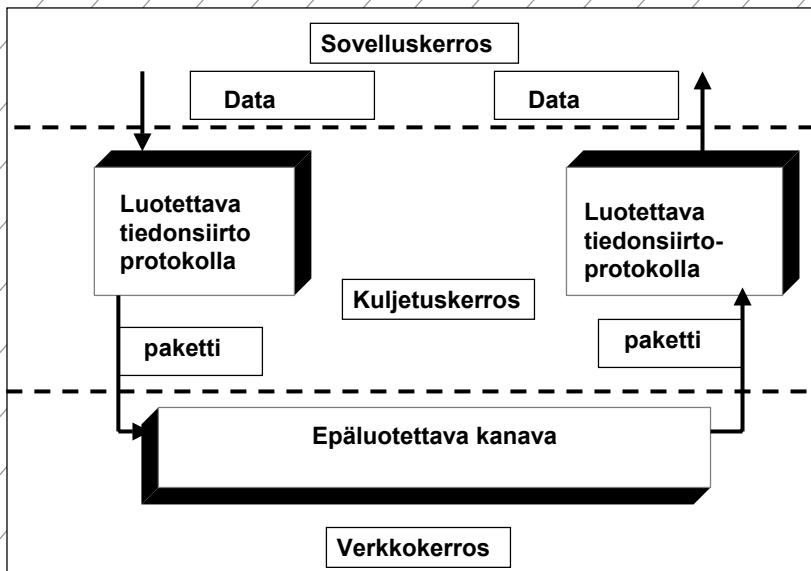
- **Lähetetään 10 tavun viesti UDP:llä.**
  - **Miten kauan kestää lähettäminen, jos lähetysnopeus on 56 kbps?**
    - **10 tavua + 8 tavua = 18 * 8 b = 144 bittiä**
    - **144 b/ 56 000 b/s = 2.57 ms**
  - **Miten suuri on etenemisviive, jos etäisyys lähettäjältä vastaanottajalle on 1000 km?**
    - **1000km/200 000 km/s = 5 ms**
  - **Miten suuri on UDP-otsakkeen aiheuttama yleisrasite (overhead)?**
    - **8/18 = 0.44 eli 44 %**

UDP:n käyttö

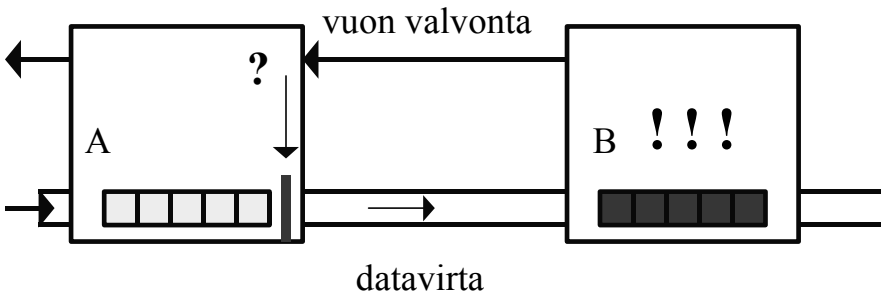
- **Vaikka UDP on epäluotettava, se sopii monien sovellusten tarpeisiin:**
  - **Remote file server (NFS)**
  - **multimedia**
  - **Internet-puhelin**
  - **verkon hallinta (SNMP)**
  - **reititys (RIP)**
  - **nimipalvelu (DNS)**
- **Miksi nämä sovellukset suosivat UDP:tä?**

3.4 Luotettava tiedonsiirto



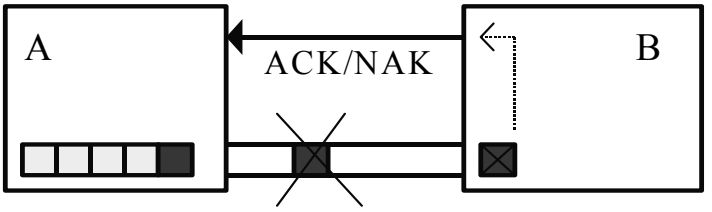


Vuon valvonta



- **X-ON / X-OFF : GO! | STOP!**

Kohinainen kanava



- **sanoma vääristyy => virhetarkistus**
- **sanoma katoaa => numerointi, ajastin ja uudelleenlähetys**
  - **duplikaattien havaitseminen**
- **sanoma viivästyy => rajallinen elinaika**
- **sanomien järjestys muuttuu => järjestäminen**

Yksinkertainen Stop and wait -protokolla

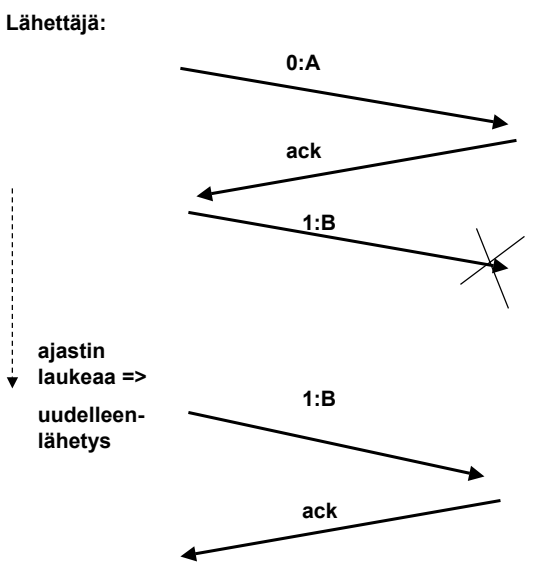
- **Oletus**
  - virheetön siirto => ei huolta virheistä, mutta vuonvalvontaa tarvitaan
- **lähettäjä**
  - lähettää sanoman
  - odottaa lupaa lähettää seuraava sanoma
- **vastaanottaja**
  - käsittelee sanoman
  - lähettää tiedon (=antaa luvan) lähettäjälle

Entä jos virheitä?

- Sanomissa virheitä tai sanomat voivat puuttua kokonaan
- Myös kuittaukset voivat kadota
- Tarvitaan
  - virheen havaitseminen ja korjaaminen
    - tarkistussumma
    - kuittaus
    - uudelleenlähetys
  - sanomien numerointi
  - uudelleenlähetysajastin

Monimutkaisempi “stop and wait” -protokolla

- ajastin lähettäjälle
  - jos kuittausta ei kuulu, sanoma lähetetään automaattisesti uudelleen
  - kuittaus: ACK =‘ok, lähetä seuraava’
  - uudelleenlähetys synnyttää kaksoiskappaleita!
- Sanomanumerointi
  - jotta vastaanottaja tunnistaa kaksoiskappaleet
  - Miten paljon numeroita tarvitaan?
    - » Numero vie tilaa sanomassa!



Stop and wait -protokollan suorituskyky

- **Esim. satelliittiyhteydellä**
  - **50 kbps, kiertoviive ~520 ms, sanoma 1000 bittiä**
  - **kanavan käyttöaste < 4%**

- **=> lähetetään useita sanomia ja sitten vasta odotetaan kuittauksia**
  - **ideaali: lähetykset liukuhihnalla (pipeline)**
    - **lähetykset ja kuittaukset limittyvät**
    - **ei mitään odottelua**
    - **lähetyskanava koko ajan käytössä**
  - **suorituskyky kasvaa**

Liukuvan ikkunan protokolla

(Sliding Window)

- **Lähetysikkuna**
  - **ikkunan koko**
    - **montako sanomaa saa korkeintaan olla kuittaamatta**
    - **järkevä koko riippuu yhteyden tyypistä ja vastaanottajan kapasiteetista**
    - **kiinteä koko /vaihteleva koko**
  - **sisältö = mitkä sanomat saa lähettää**
    - **sanomalla järjestysnumero**
      - **rajallinen, N bittiä => 2**N arvoa**
      - **numerot käytettävä järjestyksessä**

- Lähettäjä joutuu odottamaan vasta, kun kaikki ikkunan sanomat on lähetetty
  - eli numerot käytetty
- Kun kuittaus saapuu => ikkuna liukuu
  - seuraavat numerot tulevat luvallisiksi
- eli
  - lähettäjä: tietyllä hetkellä sallittujen numeroiden joukko = lähettäjän ikkuna
    - mitkä sanomat saa lähettää "etukäteen" odottamatta kuittausta

- Vastaanottajan ikkuna
  - kullakin hetkellä sallittujen numeroiden joukko
    - mitä sanomia suostuu vastaanottamaan
  - kuittaus muuttaa myös vastaanottajan ikkunan
- ikkuna pysäyttää sanomien lähetyksen
  - seuraava sanomanumero ei ole lähetysikkunassa
- ikkuna estää sanoman vastaanoton
  - saadun sanoman numero ei ole vastaanottoikkunassa

Kun ikkunan koko on 1

- Aina vain yksi sanoma kuittaamattomana
  - => One Bit Sliding Window -protokolla
  - ~ stop and wait -protokolla
- sanomanumerot 0 ja 1 riittävät
- ACK-sanoma identifioi viimeksi vastaanotetun virheettömän sanoman
  - jotta kuittausduplikaatti ei voi kuitata väärää sanomaa
  - ACK ilmoittaa joko
    - » seuraavaksi odotetun sanoman numeron
    - » viimeksi vastaanotetun sanoman numeron

- Entä kun tapahtuu virhe?
  - kaksi eri tapaa hoitaa
  1. toisto virheestä lähtien (go back n) (tai paluu n:ään)
  2. valikoiva toisto (selective repeat)

Toisto virheestä eli Paluu n:ään (‘Go back n’)

- virheellisen sanoman havaittuaan
  - vastaanottaja hylkää kaikkia sen jälkeiset sanomat eikä lähetä niistä kuittauksia
  - => sanomat hyväksytään vain oikeassa järjestyksessä
- kun lähettäjä ei saa kuittauksia,
  - sen lähetysikkuna ‘täyttyy’
  - eikä se voi enää lähettää
- lähettäjän ajastimet laukeavat aikanaan ja
  - virheellinen sanoma
  - sekä kaikki sen jälkeen lähetetyt sanomat lähetetään uudelleen
- tehoton, jos paljon virheitä ja iso ikkuna

Valikoiva toisto

- vastaanottaja hyväksyy kaikki kelvolliset sanomat
  - se kuittaa sanomat
  - puskuroi ne ja toimittaa eteenpäin oikeassa järjestyksessä
    - » tarvitaan puskuritilaa
- lähettäjä ei saa kuittausta virheellisestä sanomasta
  - ajastin laukeaa ja sanoma lähetetään uudelleen
  - lähettää uudelleen vain virheellisen sanoman
  - ikkuna liukuu nytkin tasaisesti
    - » yksi puuttuva kuittaus voi pysäyttää lähetyksen

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

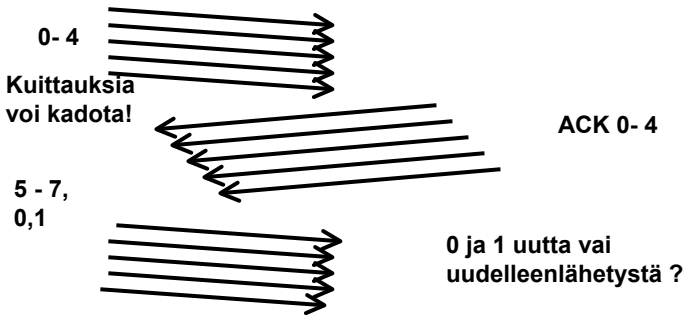
- NAK-kuittaukset voivat aiheuttaa turhia uudelleenlähetyksiä
  - lähetys ja kuittaus menevät ristiin
- NAK-kuittauksen katoaminen ei haittaa
- implisiittinen uudelleenlähetys
  - ei NAK-kuittauksia
- explisiittinen uudelleenlähetys
  - käytetään NAK-kuittauksia

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 oltava ainakin yhtä pienempi kuin numeroavaruus
- ikkunan koko valikoivassa toistossa voi olla korkeintaan (n+1)/2
  - saa olla korkeintaan puolet numeroavaruudesta

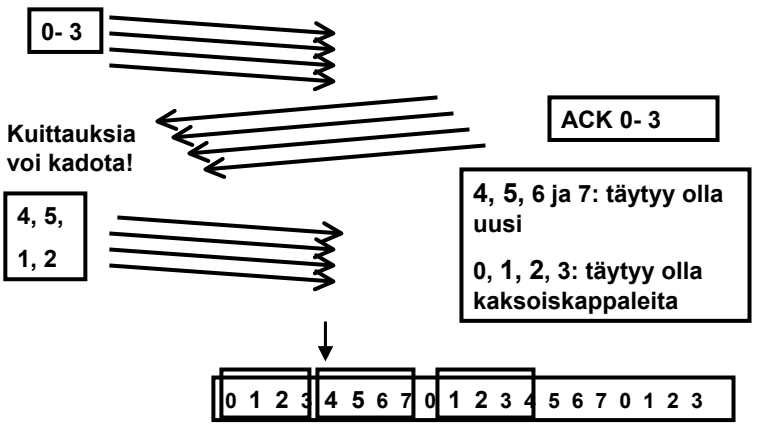
Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 5, numeroavaruus 8



Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 4, numeroavaruus 8



Kaksisuuntainen liikenne

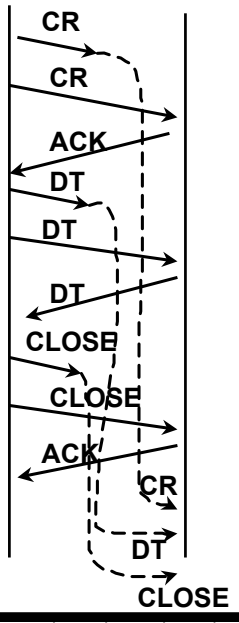
- **datakehys ja kuittauskehys**
- **kehyksessä sekä data että kuittaus**
  - **'piggypacking'**
  - **tehostaa lähetystä**
- **ongelma: kauanko kuittaaja odottaa dataa ennen pelkän kuittauksen lähettämistä?**

3.5. TCP-protokolla

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

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 (max 3 minuuttia)**
    - **sanomien numeroinnista sopiminen**
  - **Kahden armeijan ongelma (two-army problem)**
    - **"hyökkään, jos olen varma, että sinäkin hyökkäät"**
    - **symmetrinen yhteyden purku = molemmat osapuolet tietävät, että toinenkin on varmasti purkanut yhteyden**

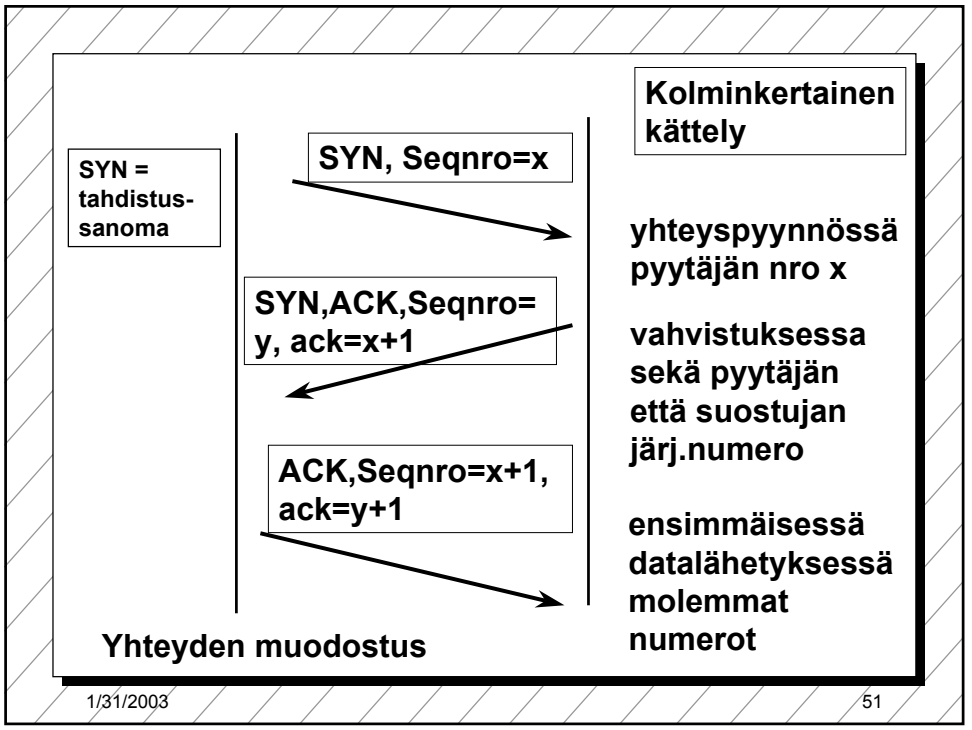


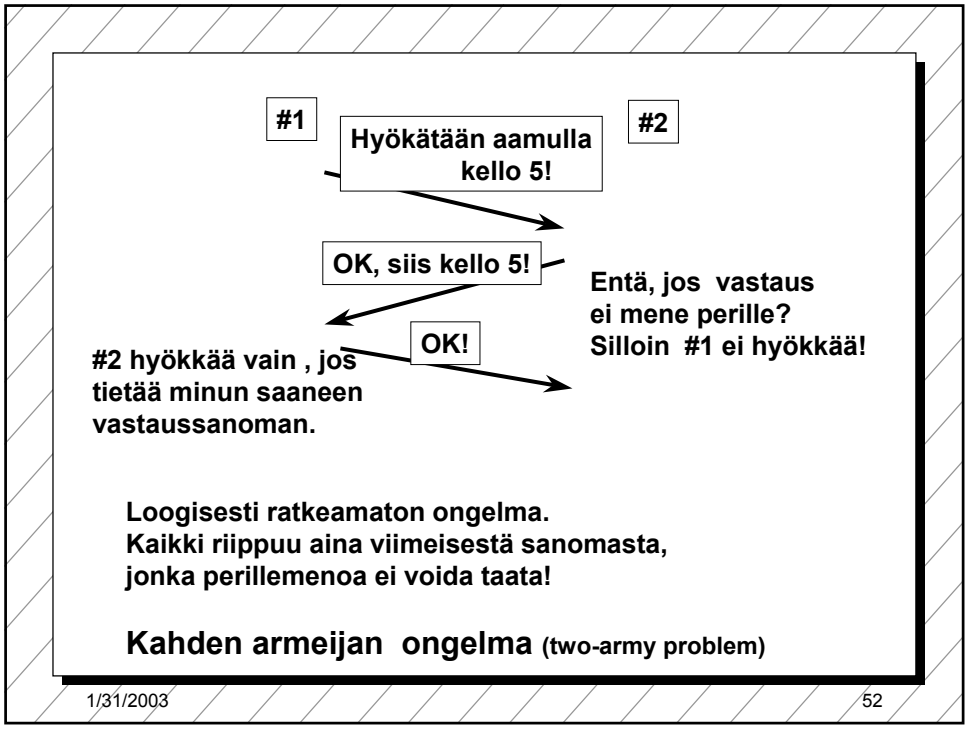
Yhteyden muodostus ruuhkaisessa verkossa

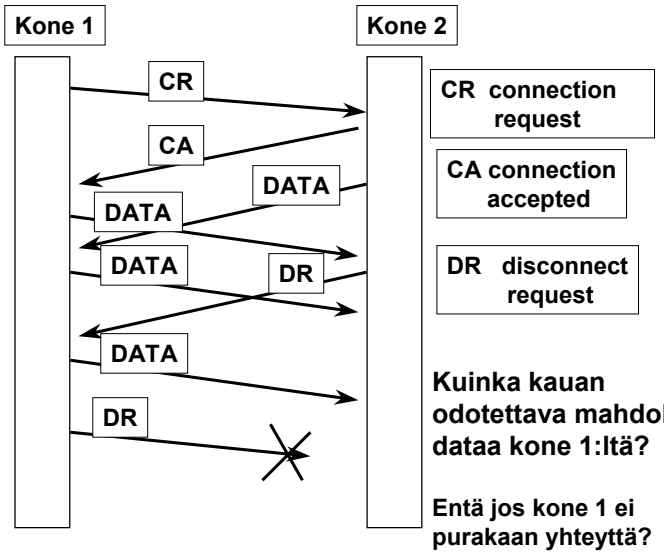
Jokainen paketti lähetetään kahteen kertaan

Kun yhteys on purettu, viivästyneet kaksoiskappaleet saapuvat

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


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

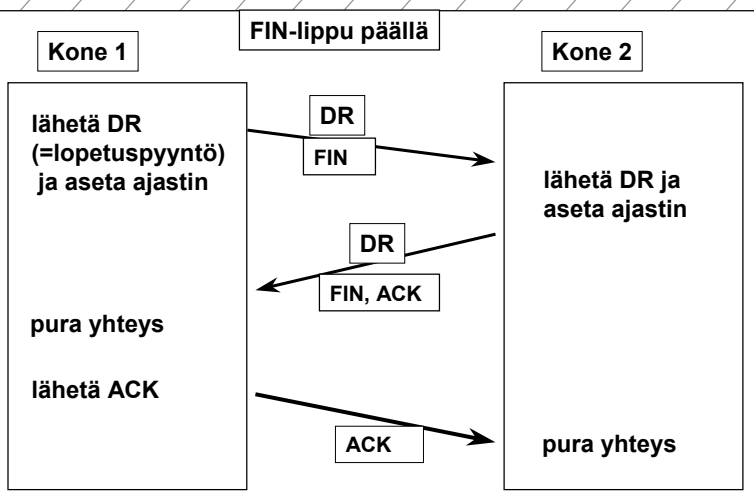

#1
Hyökätään aamulla kello 5!
#2
OK, siis kello 5!
Entä, jos vastaus ei mene perille? Silloin #1 ei hyökkää!
OK!
#2 hyökkää vain , jos tietää minun saaneen vastaussanoman.
Loogisesti ratkeamaton ongelma.
Kaikki riippuu aina viimeisestä sanomasta, jonka perillemenoa ei voida taata!
Kahden armeijan ongelma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



Sama ongelma: Symmetrinen yhteyden purku

Yhteyden purku

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



Yhteyden purku kolminkertaista kättelyä käyttäen

TCP: 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**

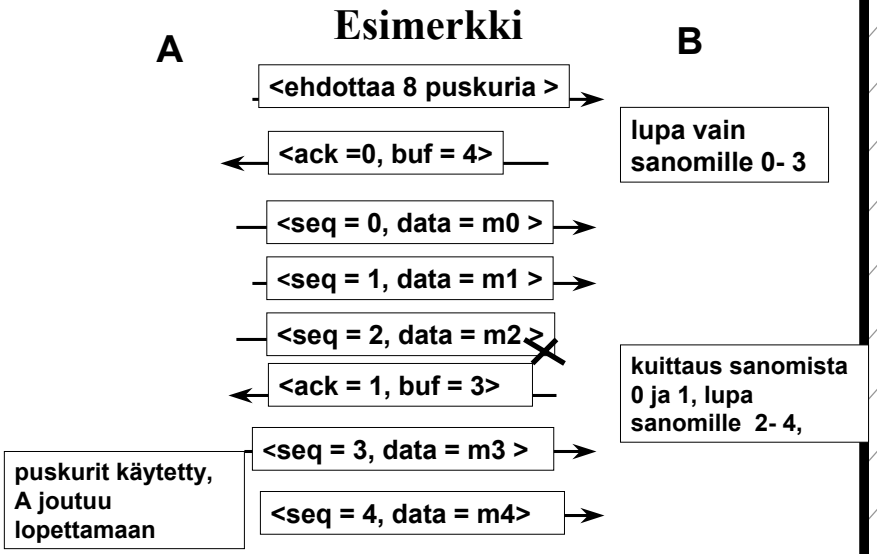
- **Go Back N -tyyppinen**
  - **virheellisiä tai väärässä järjestyksessä tulleita ei hyväksytä**
    - **ne voidaan myös tallettaa**
  - **mutta ei välttämättä lähetä kaikkia virheellisestä lähtien uudestaan**
- **Myös ehdotettu valikoivan toiston tyyppistä kuittaamista**
  - **SACK-kuitaus, joka kertoo,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

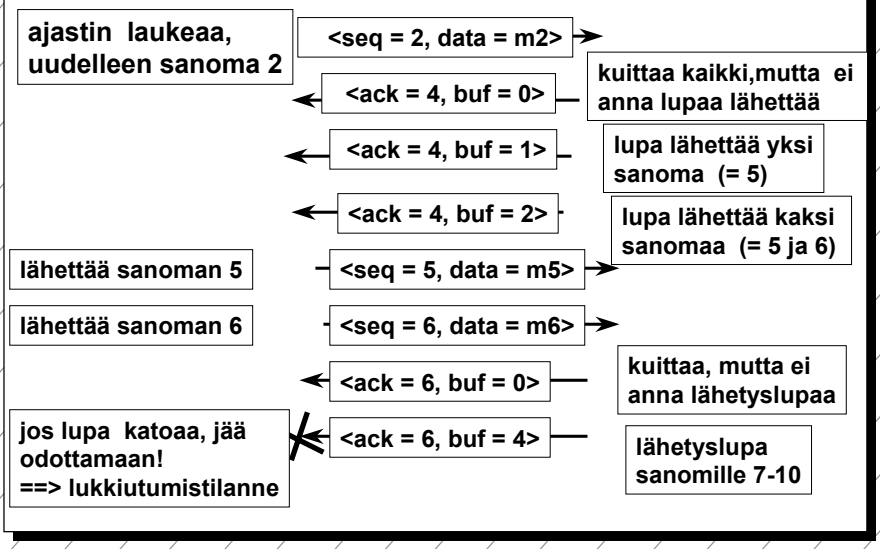
Toistokuittaukset

- **Ensikuittaus**
  - **ensimmäinen vastaanotettu sanoman kuittaus**
    - **ACK(i): sanomaan i saakka kaikki OK!**
- **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**
    - **puhtaassa liukuvassa ikkunassa kuittaus siirtää ikkunaa**
    - **AdvertisedWindow-kenttä**
      - **paljonko saa lähettää = paljonko vastaanottajan puskureihin mahtuu**
- **myös ruuhkan valvonta rajoittaa lähettämistä**





- jos ilmoitus lisäpuskureista katoaa, lähettäjä lukkiutuu odotustilaan
  - vastaanottaja voi luulla, ettei ole lähetettävää
- lukkiutumisen estämiseksi
  - kun ikkunankoko = 0 lähettäjä ei saa lähettää, paitsi
  - erityistä 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:

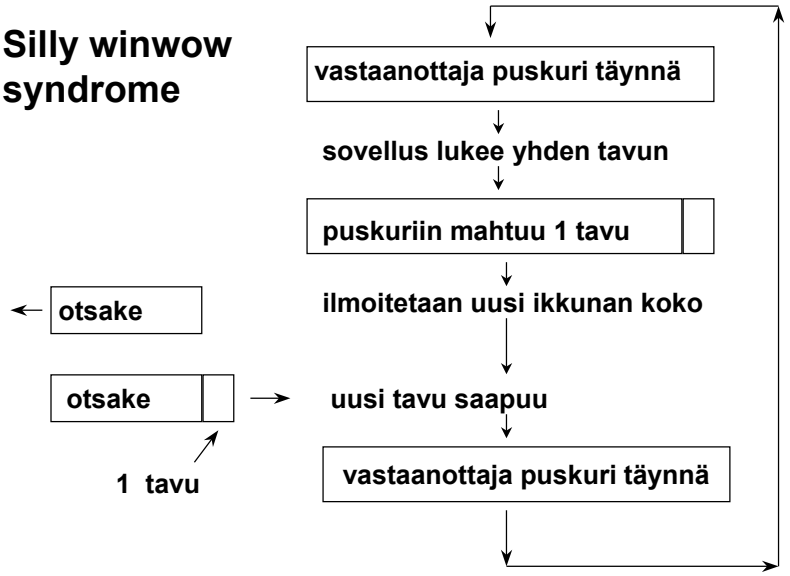
- Interaktiivinen editori => merkki lähetetään heti
  - 21 tavun TCP-segmentti => 41 tavun IP-paketti
  - joka kuitataan 40 tavun IP-paketilla
  - ilmoitus uudesta ikkunan koosta 40 tavun IP-paketilla
  - kaiutetaan merkki vielä 41 tavun IP-paketilla
  - yhden merkin käsittely =>
    - 162 tavun siirtäminen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

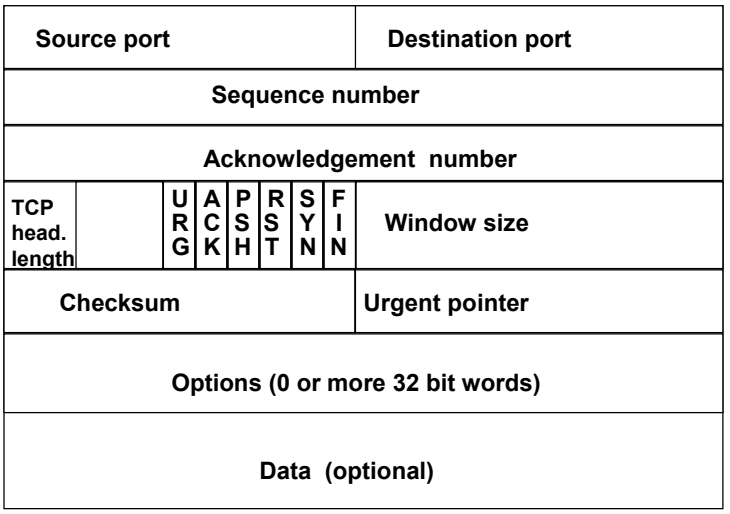
Silly winwow syndrome



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.

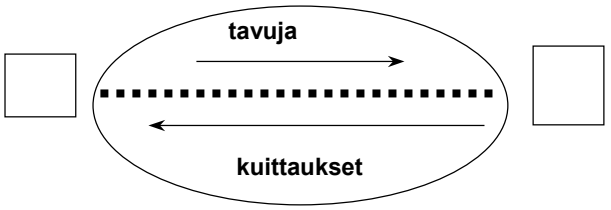
Sisältää IP-otsakkeen tietoja!

- **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

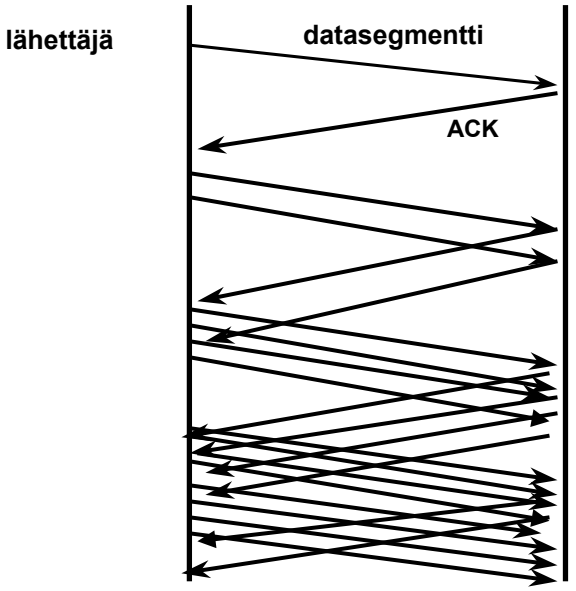
- ruuhkaikkuna
  - "paljonko tavuja (segmenttejä) lähettäjällä saa korkeintaan olla verkossa liikkeellä"
    - paljonko lähettäjä saa kuormittaa verkkoa
  - kuittaus => ko. tavut jo poistuneet verkosta



- **Ruuhkaikkunan koko?**
  - Lähettäjän on itse pääteltävä ja arvioitava sopiva ruuhkaikkunan koko
    - kukaan muu ei sitä kerro!
    - uudelleenlähetysajastin laukeaa => on ruuhkaa
    - kuittaukset tulevat tasaisesti => ei ole ruuhkaa
  - Internet-verkon kuormitus voi vaíhdella paljon
- **Dynaaminen ruuhkaikkunan koko:**
  - ruuhkaikkunaa kasvatetaan, kunnes törmätään ruuhkaan
    - ensin kasvatetaan melko nopeasti, sitten varovaisemmin
  - 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)
  - aluksi 64 K
  - ‘varoitusarvo’ = tästä lähtien syytä varoa ruuhkaa
  - 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

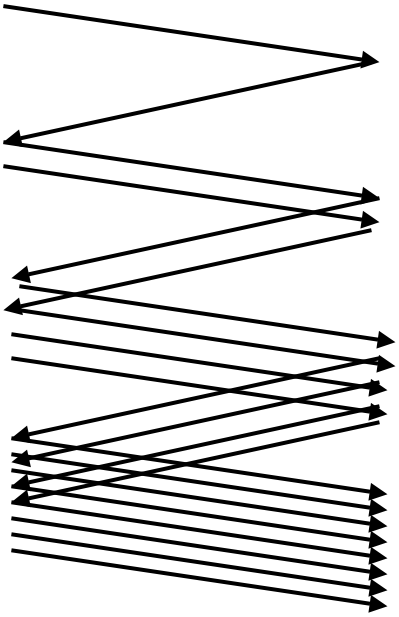
- uudelleenlähetysajastin (retransmission timer)
  - asetetaan aina kun segmentti lähetetään
  - ruuhkaa, jos kuittaus ei saavu ajoissa
- mikä on sopiva ajastimen aika?
  - kuittaus aika vaihtelee suuresti
  - vaihtelu on myös nopeaa
- dynaaminen arvo
  - saadaan jatkuvien verkon suorituskykymittauksien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

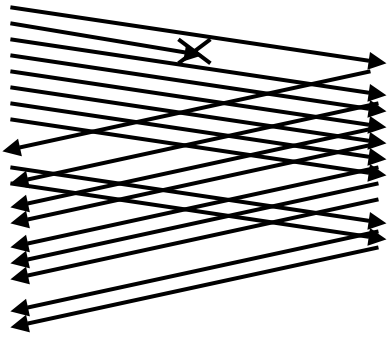
- **uudelleenlähetysten vaikutus ajastimeen**
  - **kumpaan segmenttiin kuittaus kohdistuu?**
- **Karnin algoritmi**
  - **ei oteta huomioon uudelleenlähettyjen segmenttien kuittauksia RTT:n laskemisessa**



Hidas aloitus:

Lähetysmäärä kasvaa eksponentiaalisesti

Ikkuna täyttyy ja lähettäjän täytyy odottaa kunnes kadonneen sanoman ajastin laukeaa



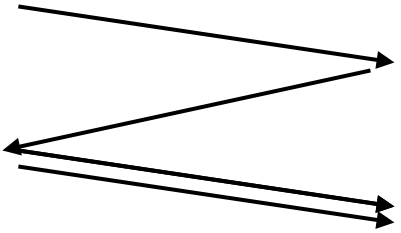
Hidas aloitus:

segmentti katoaa ja kuittausta ei tule

=> kadonneen segmentin ajastin laukeaa aikanaan

Tahoe-versio

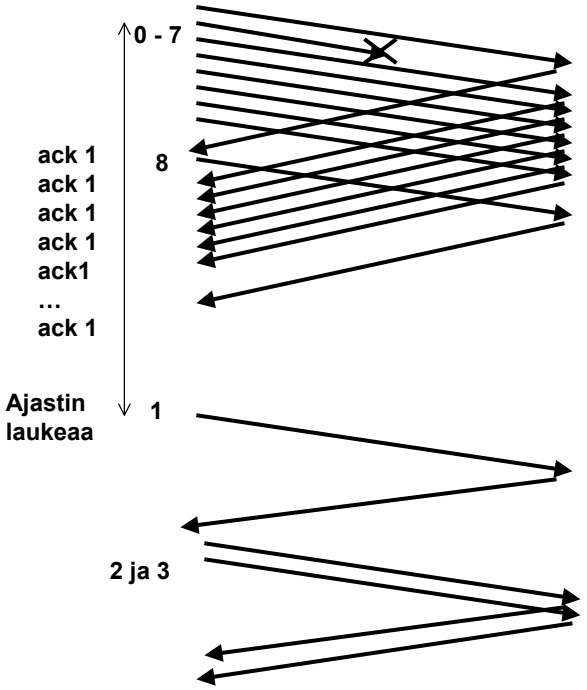
Sitten aloitetaan taas hitaalla aloituksella



Parannuksia ruuhkanvalvontaan

- **Nopea uudelleenlähetys (Fast Retransmit)**
  - **ei odoteta ajastimen laukeamista ennen uudelleenlähetystä**
  - **vastaanottaja kuittaa jokaisen paketin**
  - **kun vastaanottaja huomaa puuttuvan paketin, se lähettää uudelleen edellisen paketin kuittauksen**
    - **Duplicate ACK (~ NAK)**
  - **kun lähettäjä saa useita (3) peräkkäisiä saman paketin toistokuittauksta=> se havaitsee tästä paketin puuttuvan ja lähettää sen heti uudelleen**
  - **=> nopeampi uudelleenlähetys**

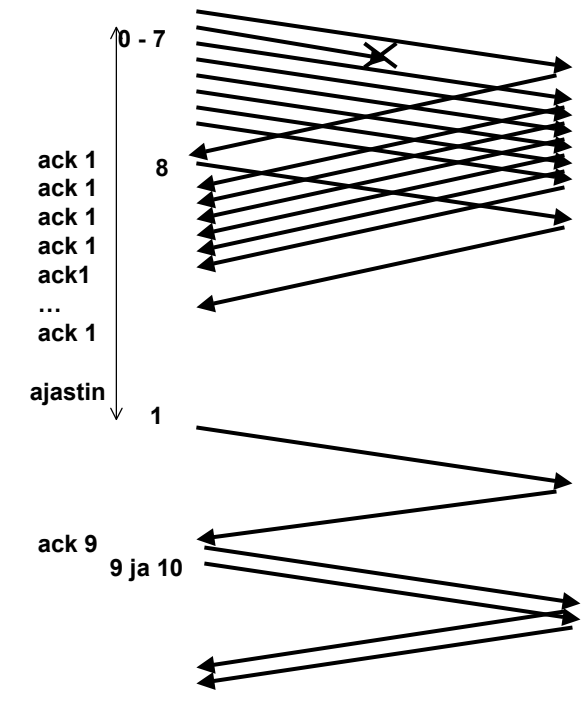
- **Nopea toipuminen (Fast Recovery)**
  - **kun kadonnut paketti huomataan nopealla toipumisella, ei aloiteta alusta hitaalla aloituksella**
    - **vaan pudotetaan ruuhkaikkuna puoleen**
    - **ja jatketaan normaalilla lineaarisella kasvattamisella**
  - **Mitä hyötyä tästä on?**
  - **Miksi voidaan huoletta tehdä näin?**



Virhetilanteessa tavallista hidasta aloitusta käytettäessä lähetetään, kunnes ikkuna täyttyy ja sitten jäädään odottamaan ajastimen laukeamista

Väärässä järjestyksessä tulleita sanomia ei hyväksytä => toistokuittauksia

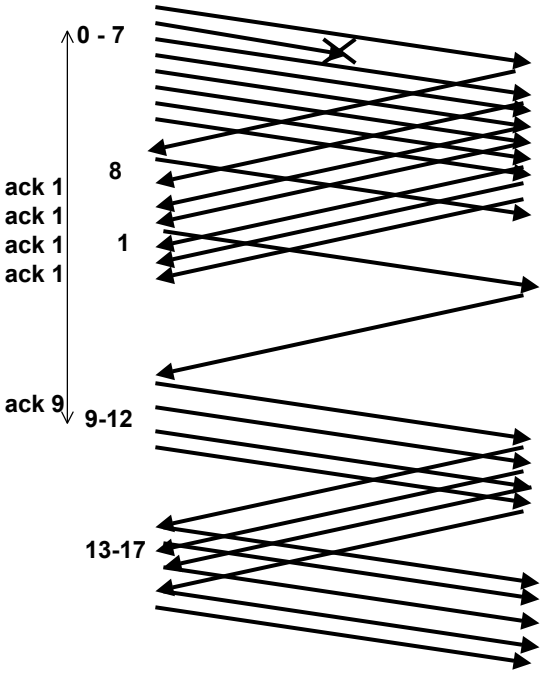
Aloitetaan hidas aloitus: ensin 1 segmentti ja vasta sen kuittauksen saavuttua 2 segmenttiä , sitten 4. Ja tämän jälkeen kasvatetaan lineaarisesti 5, 6, 7, 8,9, jne.



Hidas aloitus: kun ikkuna täyttyy jäädään odottamaan kuittauksia tai ajastimen laukeamista

TCP-protokolla usein tallettaa ‘väärässä järjestyksessä’ tulleet segmentit

eli ei toimi täysin go back -protokollan tavoin.



Nopea uudelleenlähetys ja nopea toipuminen: kolmen toistokuittauksen jälkeen lähetetään 'pyydetty' segmentti uudestaan

TCP-protokolla usein tallettaa 'väärässä järjestyksessä' tulleet segmentit

ruuhkaikkuna puolitetaan (8 => 4) ja lähetystä jatketaan kasvattamalla lähetysmäärää lineaarisesti

Reno-versio

- **hidas aloitus ja ruuhkan valvonta ongelmallisia langattomassa yhteydessä**
  - **Miksi?**
- **Lisäparannuksia ruuhkanhallintaan**
  - **esim. Vegas**
    - **ruuhkan ennustaminen ennen ajastimen laukeamista**
    - **ruuhkaikkunaa ei kasvateta aina ruuhkaan asti**
    - **RED (random early detection)**
  - **entä UDP?**

TCP langattomassa verkossa

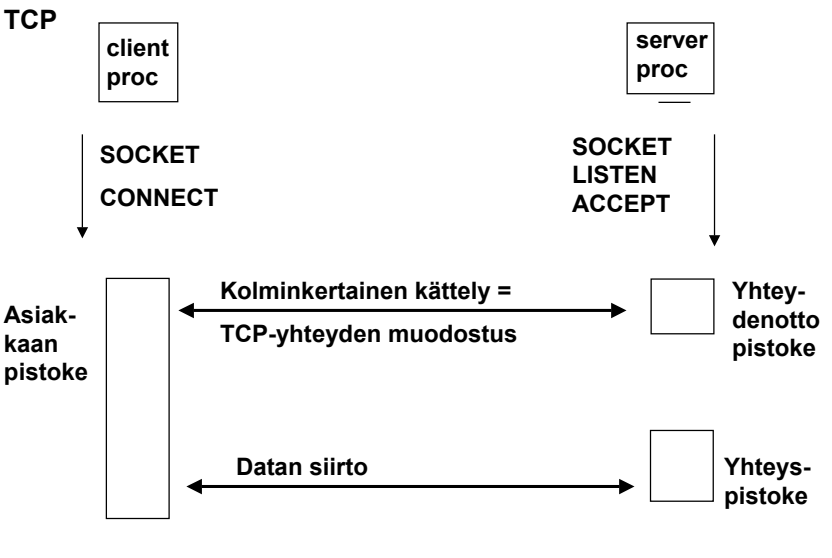
- monet TCP-toteutukset optimoitu luotettaville lankaverkoille => suorituskyky langattomissa verkoissa erittäin huono
  - ruuhkanvalvonta-algoritmi olettaa ajastimen laukeamisen johtuvan ruuhkasta
    - lähettämistä hidastetaan, jotta verkon kuormitus pienenisi ja ruuhkaa ei syntyisi
  - langattomat yhteydet ovat epäluotettavia ja paketteja katoaa
    - kadonneet paketit syytä lähettää nopeasti uudelleen
    - lähetystä pitäisi päinvastoin nopeuttaa!

TCP-yhteyden hallinta

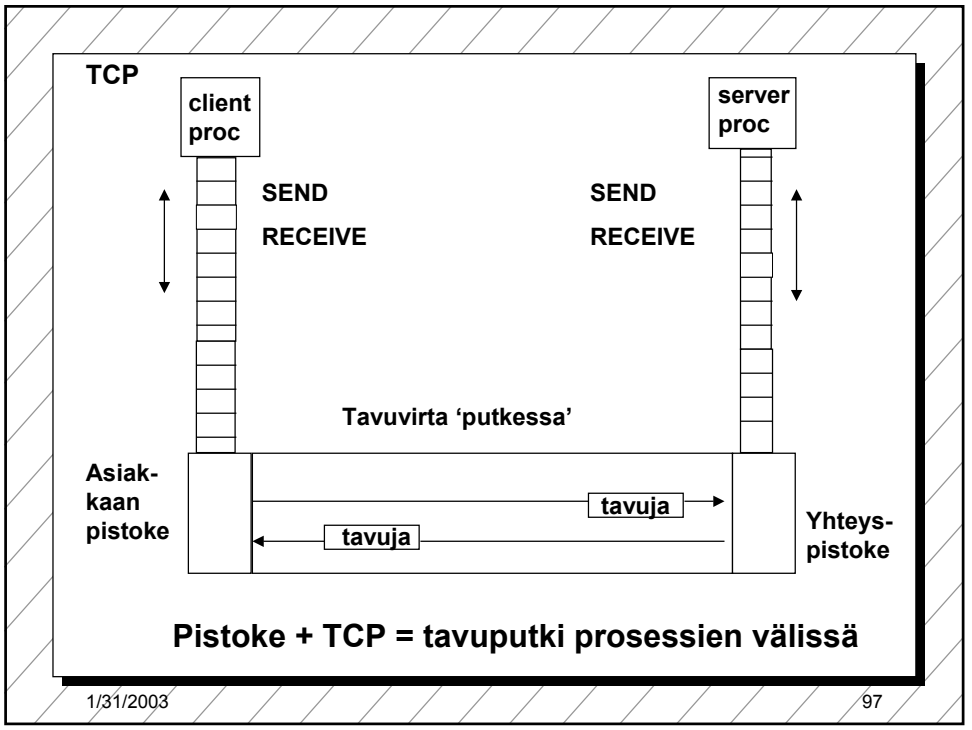
- yhteys muodostetaan kolminkertaisella kättelyllä
- passiivinen osapuoli kuuntelee
  - SOCKET
  - BIND
  - LISTEN
  - ACCEPT
- aktiivinen osapuoli aloittaa yhteydenmuodostuksen
  - CONNECT

- **CONNECT-primitiivi**
  - **parametreina**
    - **IP-osoite ja porttinumero**
    - **suurin hyväksyttävä segmentin koko**
    - **muuta tietoa, esim. salasana**

- **TCP-segmentti, jossaSYN-segmentti**
  - **SYN = 1**
  - **ACK = 0**



TCP-yhteyden muodostaminen



Pistoke + TCP = tavuputki prosessien välissä

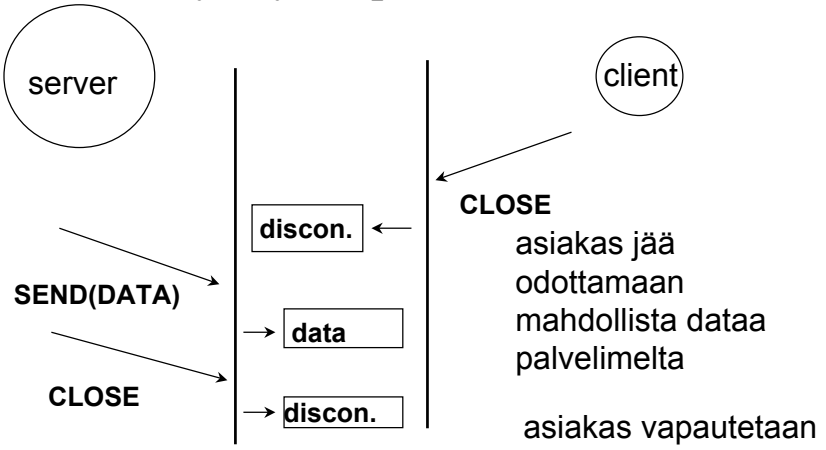
- **TCP-yhteys on tavuvirtaa, ei sanomavirtaa**
  - **lähetettäessä neljä 512 tavun pätkää vastaanottaja saa joko**
    - **neljä 512 tavun pätkää**
    - **kaksi 1024 tavun pätkää**
    - **yhden 2048 tavun pätkän**

Segmentit lähetetään neljänä eri IP-pakettina

Ne luovutetaan vastaanottajalle yhdellä READ-kutsulla

neljä 512 tavun segmenttiä **yksi 2048 tavun data**

yhteyden purkaminen



symmetrinen yhteyden purku

C-rutiineina

int socket(int domain, int type, int protocol)

palvelin:

int bind (int socket, struct sockaddr *address,
int addr_len)

int listen(int socket, int backlog)

int accept(int socket, struct sockaddr *address,
int *addr_len

asiakas:

int connect (intsocket, struct sockaddr *address,
int addr_len)

int send(int socket, char *message, int msg_len, int flags)

sanoman lähetys annetun pistokkeen kautta

int recv(int socket, char *buffer, int buf_len, int flags)

sanoma vastaanotto annetusta pistokkeesta ilmoitettuun puskuriin

Pistokeohjelmointia Javalla

- **Socket clientSocket = new Socket("hostname", 6789);**
- **clientSocket.close();**
- **ServerSocket welcomeSocket = new Server Socket (6789);**
- **Socket connectionSocket = welcomeSocket;**
- **accept()**

- **(esimerkki kirjassa Kurose, Ross, Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Interbet)**

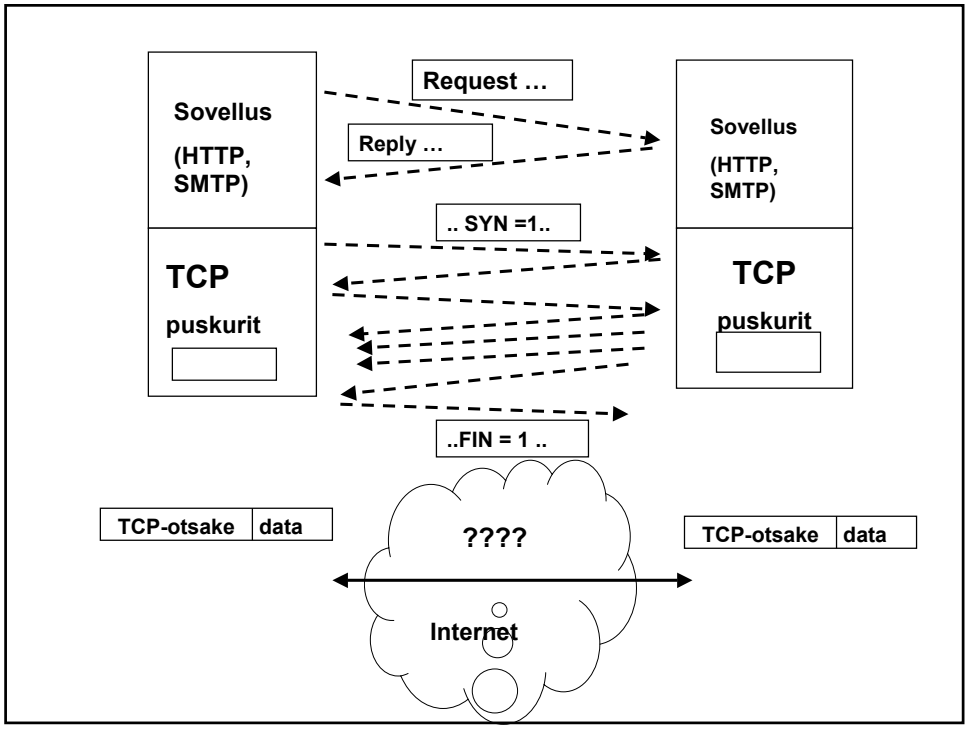
Pistokeohjelmointi

- **Pistokeohjelmointia ja yleensä hajautettujen verkkosovellusten tekemistä opetellaan erillisellä kurssilla**
  - **Verkkosovellusten toteuttaminen**

    (järjestetään keväällä 2003)

Yhteenveto

- **Kuljetuskerroksen palvelut**
  - **UDP**
  - **TCP**
    - **luotettava tavuvirta**
      - **yhteyden muodostus ja purku**
      - **numerointi, tarkistussumma,**
      - **kuittaus, uudelleenlähetys, Go-back N**
      - **vuonvalvonta: vastaanottoikkuna (liukuva ikkuna)**
      - **ruuhkanhallinta: hidas aloitus**
  - **pistokeohjelmointi**


Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
puskurit
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
puskurit
TCP-otsake
data
????
Internet
TCP-otsake
data