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**

Sovelluksen vaatimuksia kuljetuspalvelulle:

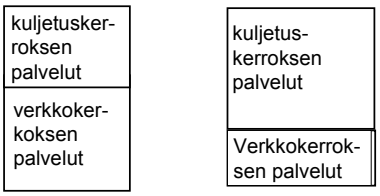
- **Virheetön, luotettava**
- **järjestyksen säilyttävä**
- **kaksoiskappaleet karsiva**
- **mielivaltaisen pitkiä sanomia salliva**
- **vuonvalvonnan mahdollistava**

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)

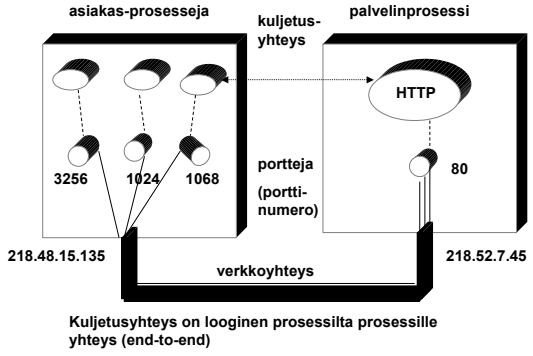


Internetin kuljetuskerros

- **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**

3.2. Sovelluksien datavirtojen erottaminen

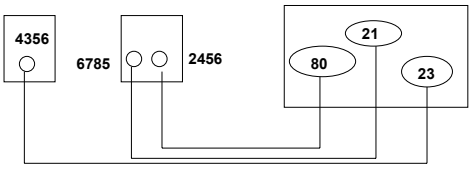
- **IP-osoite**
  - **osoittaa koneen yksikäsitteisesti**
- **Sovellusprosessi koneessa tunnistetaan porttinumerosta (16 bittiää =>0-65535)**
  - **jokaisessa lähetetyssä segmentissä on**
    - **lähettäjän porttinumero**
    - **vastaanottajan porttinumero**
- **Yleisillä palvelimilla omat varatut porttinumerot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



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

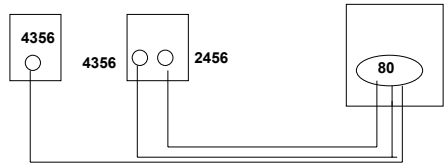
Asiakkaalle kuljetuskerros usein automaattisesti antaa käyttöön jonkin vapaan porttinumeron yhteyden ajaksi

Palvelimilla kiinteät numerot yhteydenottoa varten (ohjelmallisesti luodut pistokkeet)



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

Eri koneissa voidaan ottaa sama numero!

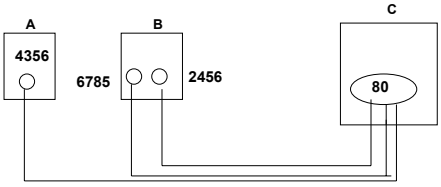


Kolme yhteyttä: 4356 <=> 80, 4356 <=> 80, 2456 <=>80!

Kuljetusyhteydellä käytetään apuna myös IP-osoitetta:

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

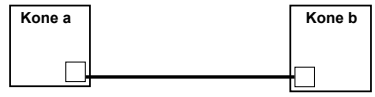
Yhteydellisessä TCP:ssä tarvitaan sekä lähteen että kohteen pistokenumerot! (yhteydettömässä UDP:ssä riittää kohteen pistokenumero)



Kolme yhteyttä: A:4356 <=> C:80 ,B: 6785 <=> C:80 ja B:2456 <=>C:80, vaikka kohteena on sama C:80

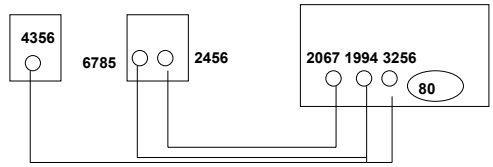
TCP-yhteys

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



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

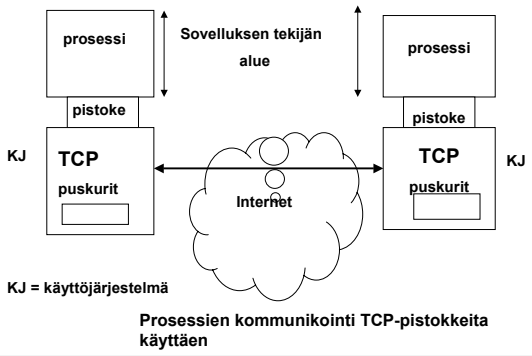
Palvelimessa yhteyksille uudet porttinumerot, jotta portti 80 voi ottaa vastaan uusia yhteyspyyntöjä



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

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

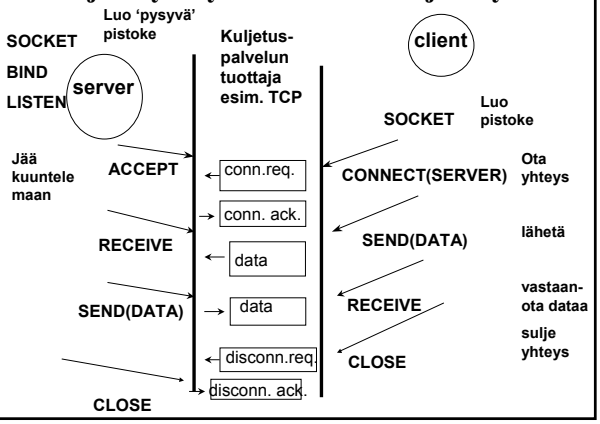


Prosessien kommunikointi TCP-pistokkeita käyttäen

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)

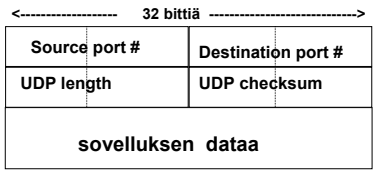
Kuljetusyhteyden muodostus ja käyttö



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	vastaanottaja	
1011 0100	1011 0100	1011 0100
0111 0101	0111 0101	1111 0101
1000 1101	1000 1101	1000 1101
=========	0100 1001	0100 1001
1011 0110	=========	=========
⇩	1111 1111	0111 1111
	OK!	VIRHE!
0100 1001		
Yhden komplementti		

- 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

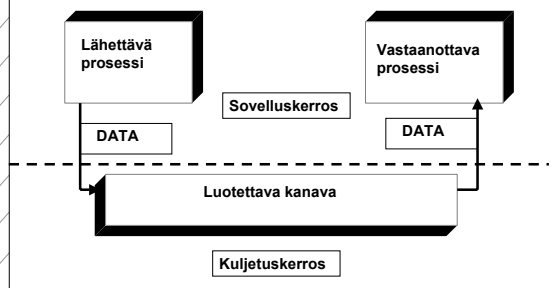
Tehtäviä:

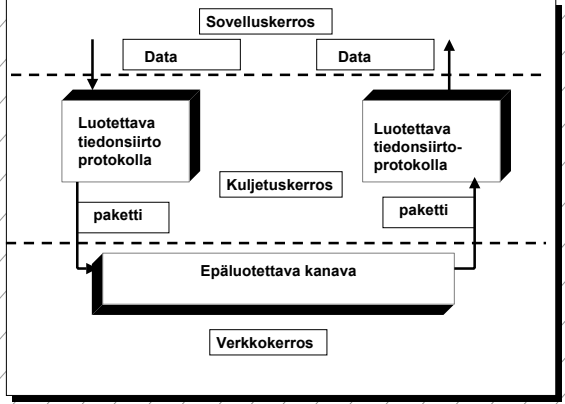
- Lähetetään 10 tavun viesti UDP:llä.
  - Miten kauan kestää lähettäminen, jos lähetysnopeus on 56 kbps?
    - 10 tavua + 8 tavua = 18 * 8 b = 144 bittiä
    - 144 b/ 56 000 b/s = 2.57 ms
  - Miten suuri on etenemisviive, jos etäisyys lähettäjältä vastaanottajalle on 1000 km?
    - 1000km/200 000 km/s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

UDP:n käyttö

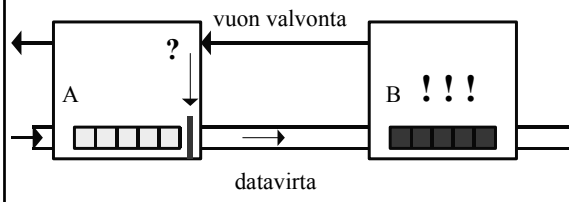
- Vaikka UDP on epäluotettava, se sopii monien sovellusten tarpeisiin:
  - Remote file server (NFS)
  - multimedia
  - Internet-puhelin
  - verkon hallinta (SNMP)
  - reititys (RIP)
  - nimipalvelu (DNS)
- Miksi nämä sovellukset suosivat UDP:tä?

3.4 Luotettava tiedonsiirto



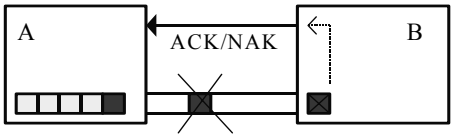


Vuon valvonta



- **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**

Stop and wait -protokolla

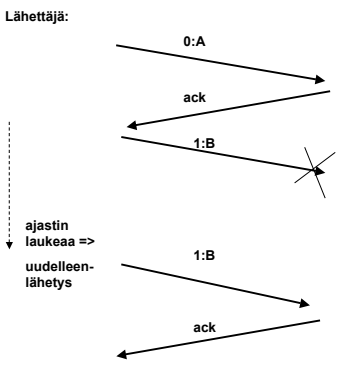
- **Oletus**
  - **virheetön siirto => ei huolta virheistä, mutta vuonvalvontaa tarvitaan**
- **lähettäjä**
  - **lähettää sanoman**
  - **odottaa lupaa lähettää seuraava sanoma**
- **vastaanottaja**
  - **käsittelee sanoman**
  - **lähettää tiedon (=antaa luvan) lähettäjälle**

Entä jos virheitä?

- **Sanomissa virheitä tai sanomat voivat puuttua kokonaan**
- **Myös kuittaukset voivat kadota**
- **Tarvitaan**
  - **virheen havaitseminen ja korjaaminen**
    - **tarkistussumma**
    - **Kuittaus (ACK/NAK/toistoACK)**
    - **uudelleenlähetys**
  - **sanomien numerointi**
  - **uudelleenlähetysajastin**

Todellisempi "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**
- **Kun 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**

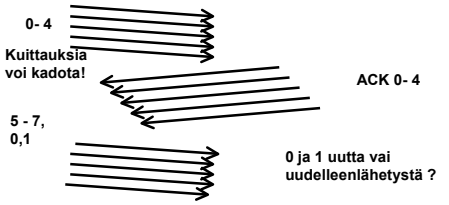
- **NAK-kuittaukset voivat aiheuttaa turhia uudelleenlähetyksiä**
  - **lähetys ja kuittaus menevät ristiin**
- **NAK-kuittauksen katoaminen ei haittaa**
- **implisiittinen uudelleenlähetys**
  - **Toistetaan samaa ACK-kuittausta (toistokuittaus)**
  - **ei käytetä NAK-kuittauksia**
- **explisiittinen 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

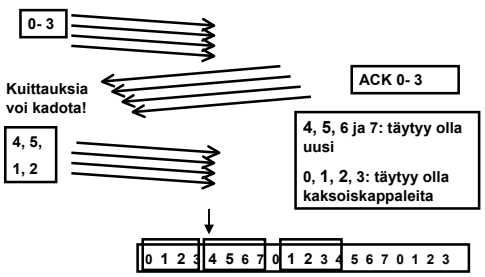
Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 5, numeroavaruus 8



Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 4, numeroavaruus 8

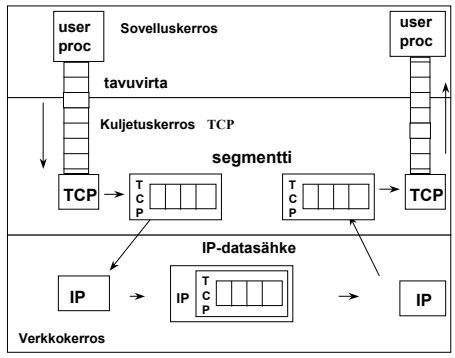


Kaksisuuntainen liikenne

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

3.5. TCP-protokolla

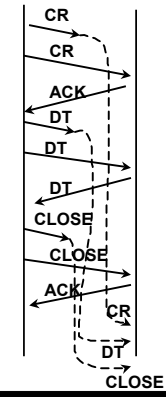
- yhteyden muodostus ja purku
- luotettavan tavuvirran toteuttaminen
- vuonvalvonta
- siirron optimointi
- TCP-segmentti
- ruuhkan valvonta
- TCP-palvelun käyttö



TCP: prosessilta prosessille - tavuvirta

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

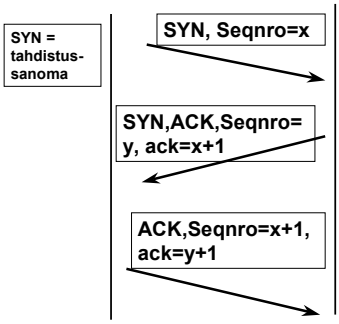


Yhteyden muodostus ruuhkaisessa verkossa

Jokainen paketti lähetetään kahteen kertaan

Kun yhteys on purettu, viivästyneet kaksoiskappaleet saapuvat

Ne tulkitaan uudeksi yhteydeksi ja data otetaan vastaan kahteen kertaan!



Yhteyden muodostus

Kolminkertainen kättely

yhteyspyynnössä pyytäjän nro x

vahvistuksessa sekä pyytäjän että suostujan järj.numero

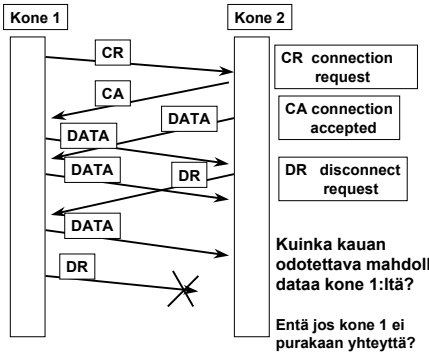
ensimmäisessä datalähetyksessä molemmat numerot

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!

Kahden armeijan ongelma (two-army problem)



CR connection request

CA connection accepted

DR disconnect request

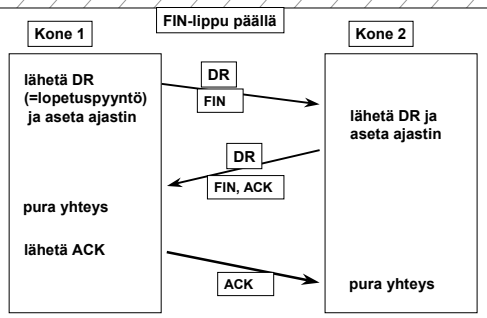
Kuinka kauan odotettava mahdollista dataa kone 1:ltä?

Entä jos kone 1 ei purakaan yhteyttä?

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

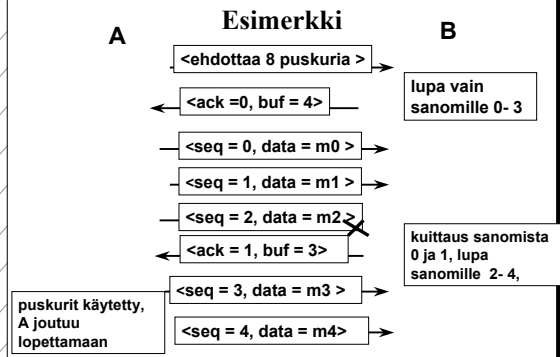
- **Go Back N -tyyppinen**
  - virheellisiä tai väärässä järjestyksessä tulleita ei hyväksytä
    - ne voidaan myös tallettaa
  - mutta ei välttämättä lähetä kaikkia virheellisestä lähtien uudestaan
- **Myös ehdotettu valikoivan toiston tyyppistä kuittaamista**
  - SACK-kuitaus, joka kertoo, mitkä segmentit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

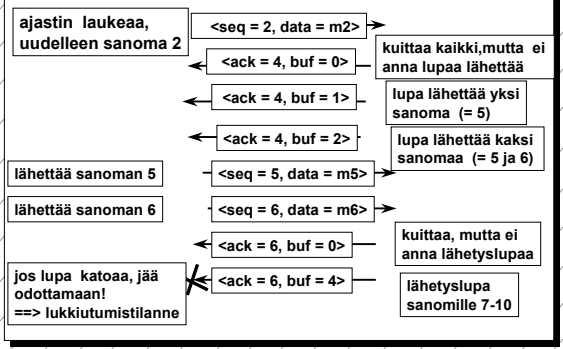
Toistokuittaukset

- **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

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

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

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.

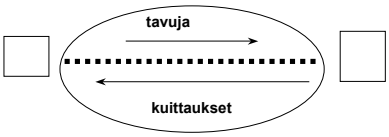
Sisältää IP-otsakkeen tietoja!

- **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

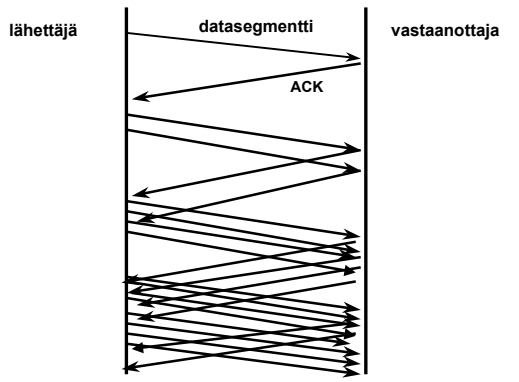
- **ruuhkaikkuna**
  - **"paljonko tavuja (segmenttejä) lähettäjällä saa korkeintaan olla verkossa liikkeellä"**
    - **paljonko lähettäjä saa kuormittaa verkkoa**
  - **kuittaus => ko. tavut jo poistuneet verkosta**



- **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 vaihdella 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

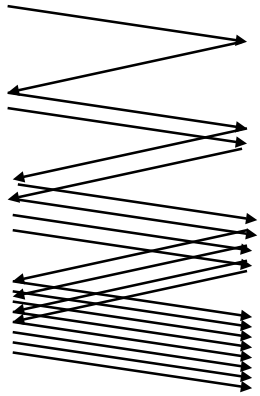
- **uudelleenlähetysajastin** (retransmission timer)
  - asetetaan aina kun segmentti lähetetään
  - ruuhkaa, jos kuittaus ei saavu ajoissa
- **mikä on sopiva ajastimen aika?**
  - kuittaus aika vaihtelee suuresti
  - vaihtelu on myös nopeaa
- **dynaaminen arvo**
  - saadaan jatkuvien verkon suorituskykymittauksien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

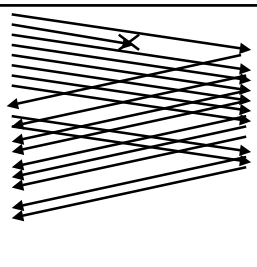
    D = α D + (1- α)|RTT-M|
  - ajastimen arvo = RTT +4*D

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



Hidas aloitus:

Lähetysmäärä kasvaa eksponentiaalisesti

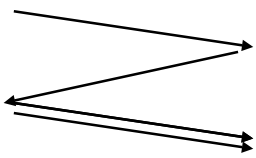


Ikkuna täyttyy ja lähettäjän täytyy odottaa kunnes kadonneen sanoman ajastin laukeaa

Hidas aloitus:

segmentti katoaa ja kuittausta ei tule

=> kadonneen segmentin ajastin laukeaa aikanaan



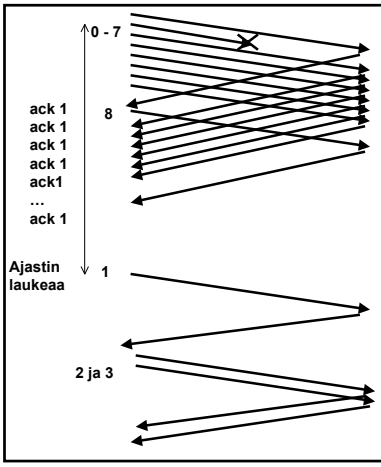
Sitten aloitetaan taas hitaalla aloituksella

Tahoe-versio

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

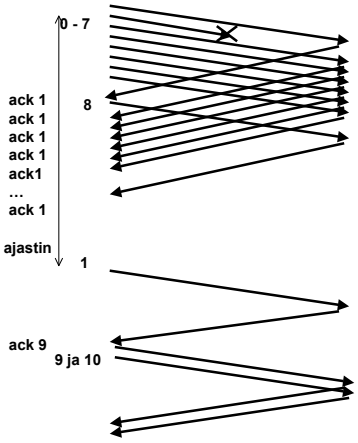
- **Nopea toipuminen (Fast Recovery)**
  - **kun kadonnut paketti huomataan nopealla toipumisella, ei aloiteta alusta hitaalla aloituksella**
    - **vaan pudotetaan ruuhkaikkuna puoleen**
    - **ja jatketaan normaalilla lineaarisella kasvattamisella**
  - **Mitä hyötyä tästä on?**
  - **Miksi voidaan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

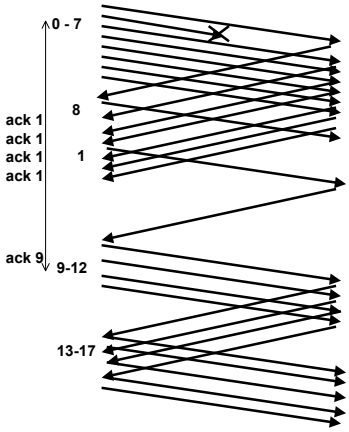
Aloitetaan hidas aloitus: ensin 1 segmentti ja vasta sen kuittauksen saavuttua 2 segmenttiä , sitten 4. Ja tämän jälkeen kasvatetaan lineaarisesti 5, 6, 7, 8,9, jne.



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!**

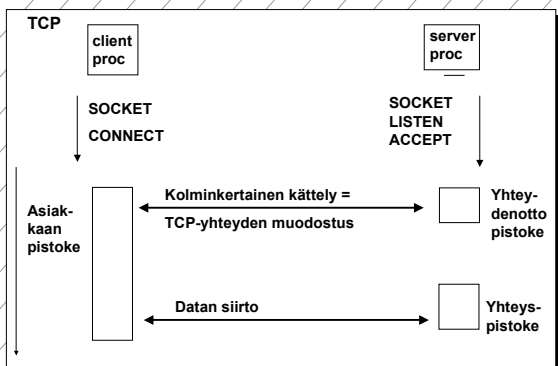
TCP-yhteyden hallinta

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

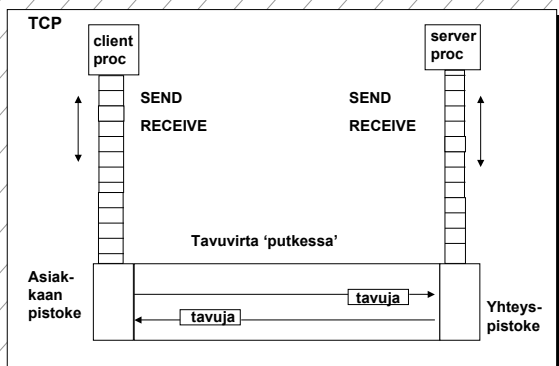
- CONNECT-primitiivi
  - parametreina
    - IP-osoite ja porttinumero
    - suurin hyväksyttävä segmentin koko
    - muuta tietoa, esim. salasana

↓

- TCP-segmentti, jossa SYN-segmentti
  - SYN = 1
  - ACK = 0



TCP-yhteyden muodostaminen



Pistoke + TCP = tavuputki prosessien välissä

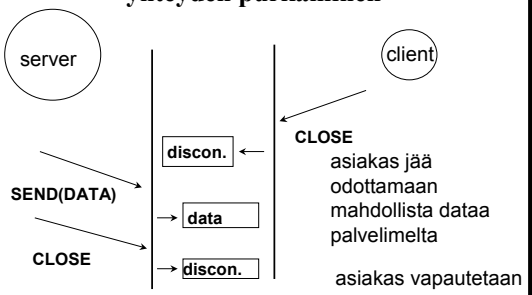
- TCP-yhteys on tavuvirtaa, ei sanomavirtaa
  - lähetettäessä neljä 512 tavun pätkää vastaanottaja saa joko
    - neljä 512 tavun pätkää
    - kaksi 1024 tavun pätkää
    - yhden 2048 tavun pätkän

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()

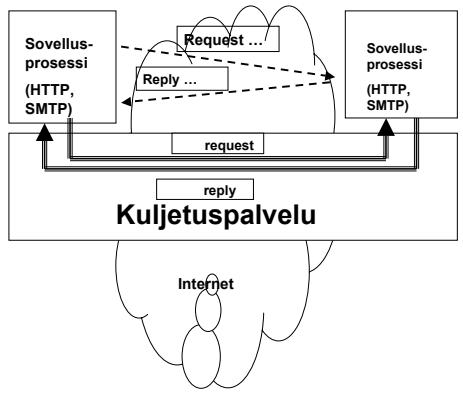
- (esimerkki kirjassa Kurose, Ross, Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Interbet)

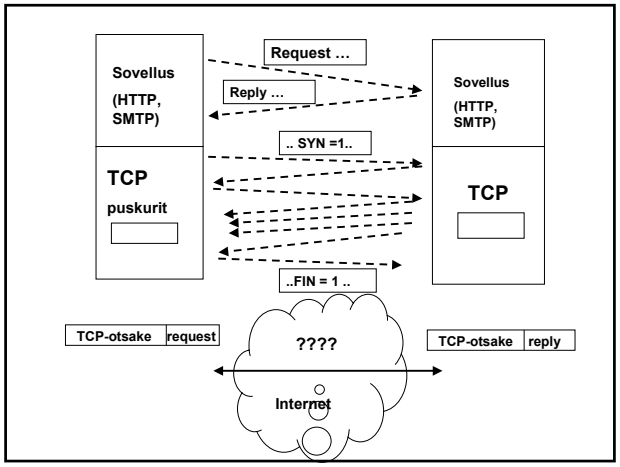
Pistokeohjelmointi

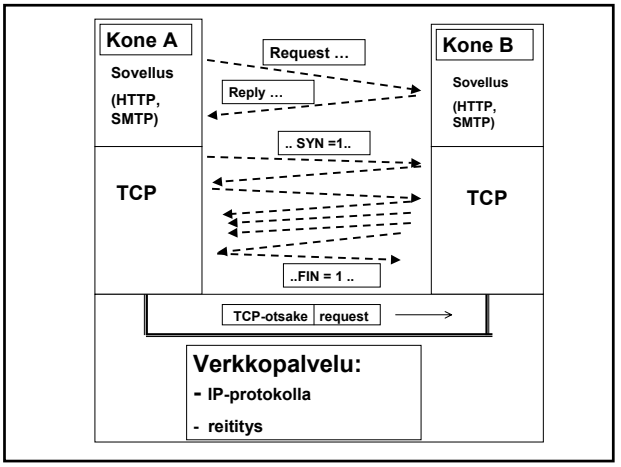
- Pistokeohjelmointia ja yleensä hajautettujen verkkosovellusten tekemistä opetellaan erillisellä kurssilla
  - Verkkosovellusten toteuttaminen (järjestetään keväällä 2003)

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
TCP-otsake
request
????
Internet
TCP-otsake
reply


Kone A
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
Kone B
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
TCP-otsake
request
Verkkopalvelu:
- IP-protokolla
- reititys