

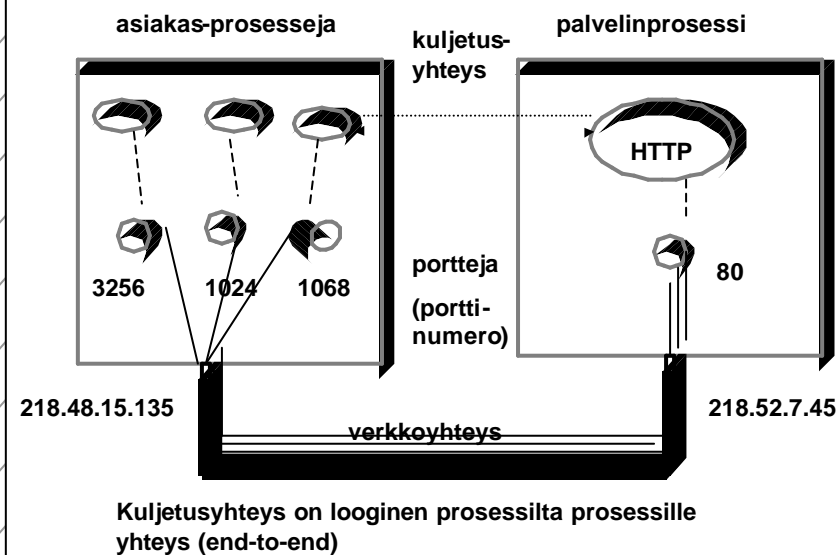
3. Kuljetuskerros

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 uudelleenlähetyistä

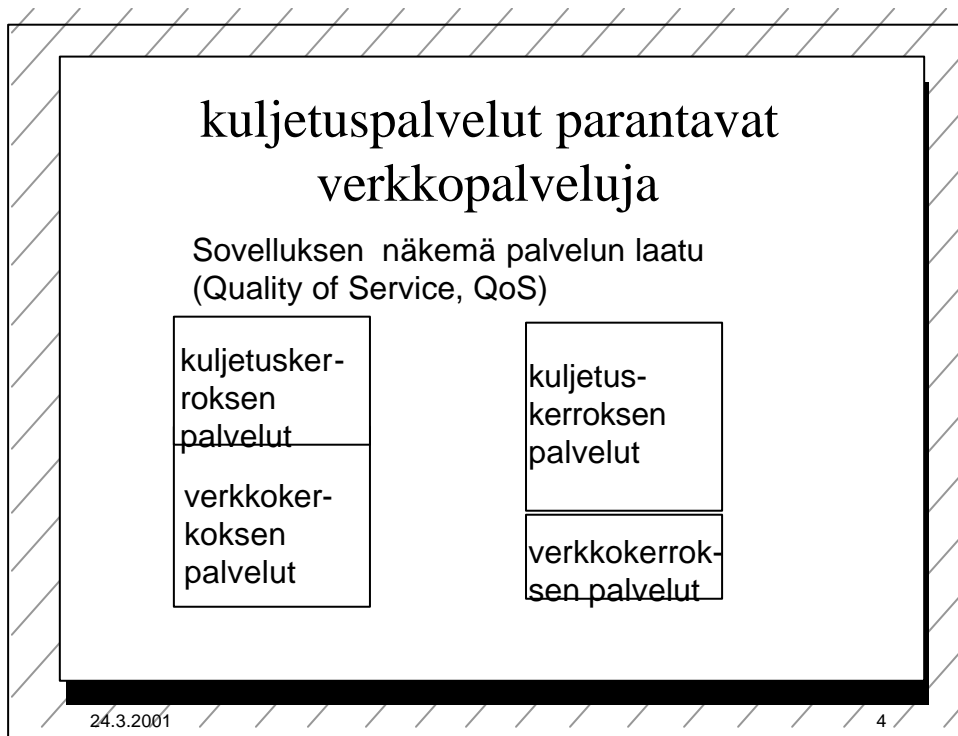
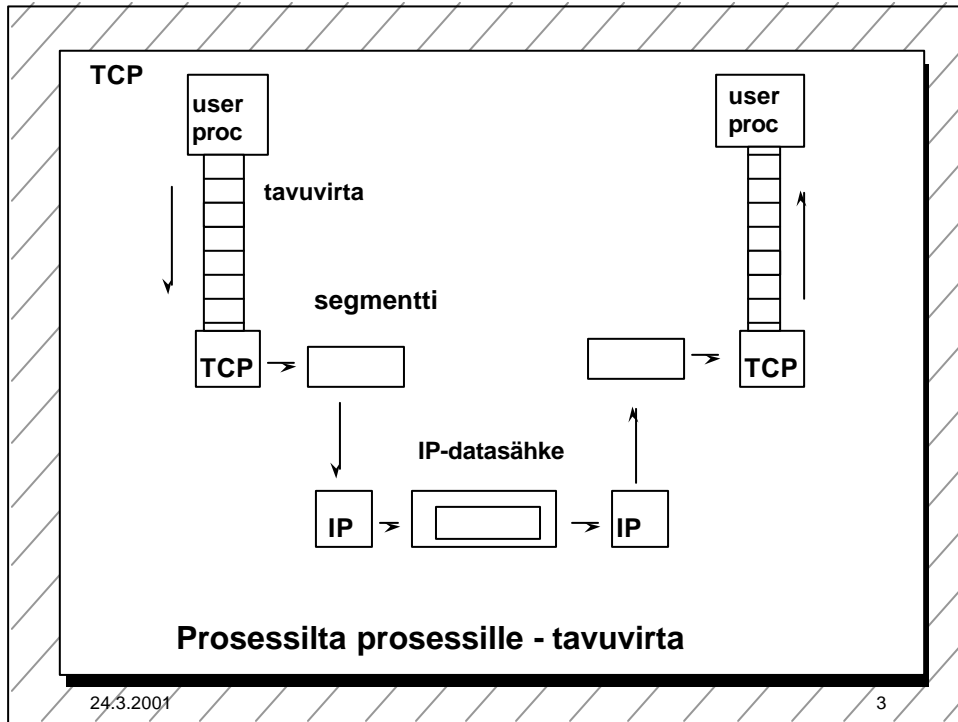
24.3.2001

1



24.3.2001

2



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**

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

Sovelluksien datavirtojen erottaminen

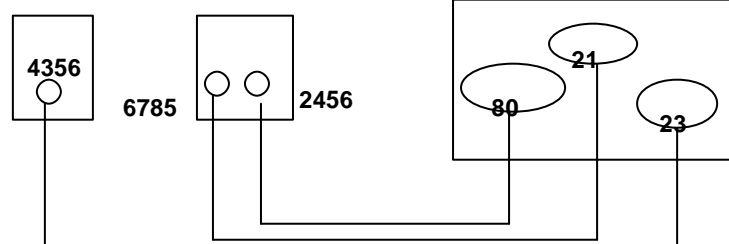
- IP-osoite
 - osoittaa koneen yksikäsitteisesti
- Sovellusprosessi tunnustetaan porttimestä (16 bittinä =>0-65535)
 - jokaisessa lähetetyssä segmentissä on
 - lähettäjän porttimestä
 - vastaanottajan porttimestä
- Yleisillä palvelimilla omat varatut porttimestä (0-1023)
 - SMTP 25, HTTP 80, jne

24.3.2001

7

Asiakkaalle kuljetuskerros usein
automaattisesti antaa käyttöön jonkin
vapaa porttimestä yhteyden ajaksi

Palvelimilla kiinteät
numerot

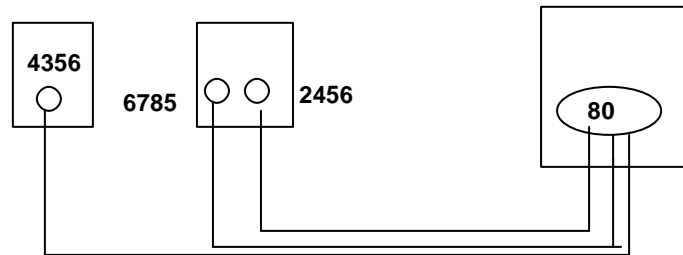


Kolme yhteyttä: 4356 <=> 23, 6785 <=> 21, 2456 <=>80

24.3.2001

8

Tarvitaan sekä lähteen että kohteen porttinumerot

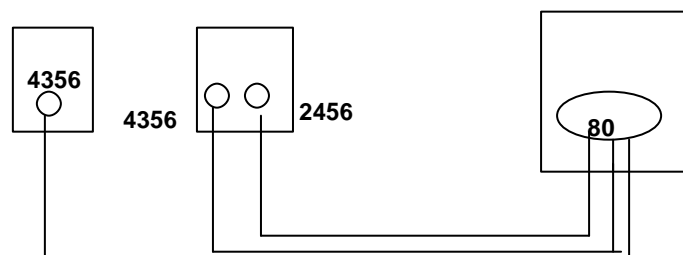


Kolme yhteyttä: 4356 \Leftrightarrow 80, 6785 \Leftrightarrow 80, 2456 \Leftrightarrow 80

24.3.2001

9

Eri koneissa voidaan ottaa sama numero!



Kolme yhteyttä: 4356 \Leftrightarrow 80, 4356 \Leftrightarrow 80, 2456 \Leftrightarrow 80!

Kuljetusyhteydellä käytetään apina myös IP-osoitetta:

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

24.3.2001

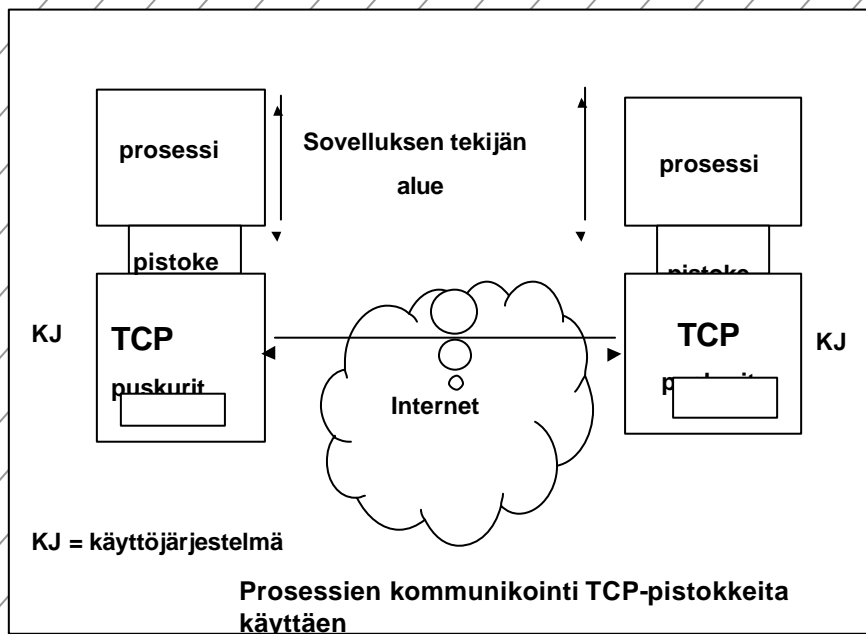
10

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

24.3.2001

11



24.3.2001

12

- 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 yhteyden päätepistepistoke
- **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)

24.3.2001

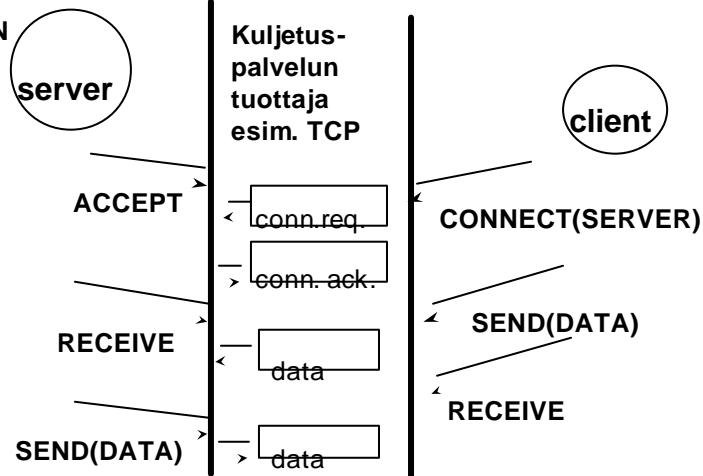
15

Kuljetusyhteyden muodostus ja käyttö

SOCKET

BIND

LISTEN

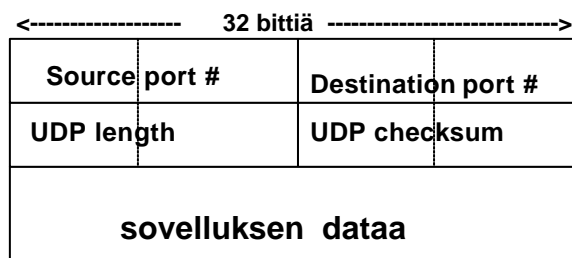


3.3 UDP

■ 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 yhteen kolme 8 bitin mittaista sanaa:

- Lähettäjä vastaanottaja

1011 0100	1011 0100
0111 0101	1111 0101
1000 1101	1000 1101
=====	0100 1001
1011 0110	=====
	0111 1111
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 pienempi => pienempi yleisrasite => tehokkaampi
- Ruuhkanvalvonta ei säännöstele liikennettä

Tehtäviä:

- Lähetetään 10 tavun viesti UDP:llä.
 - Miten kauan kestää lähettäminen, jos lähetyksenopeus on 56 kbps?
 - Miten suuri on etenemisviive, jos etäisyys lähettäjältä vastaanottajalle on 1000 km?
 - Miten suuri on UDP-otsakkeen aiheuttama yleisrasite (overhead)?

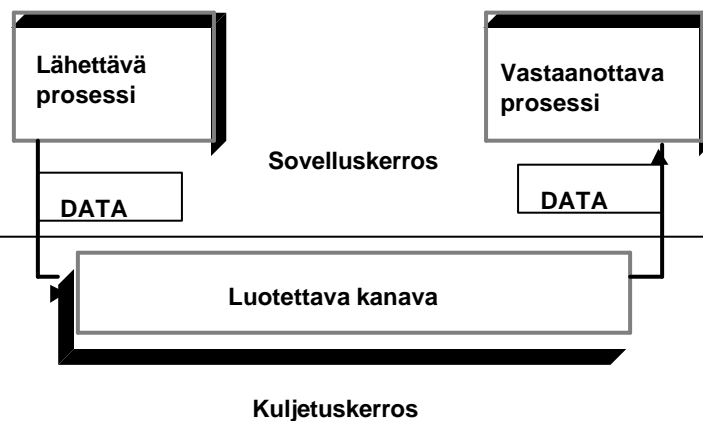
UDP:n käyttö

- 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?

24.3.2001

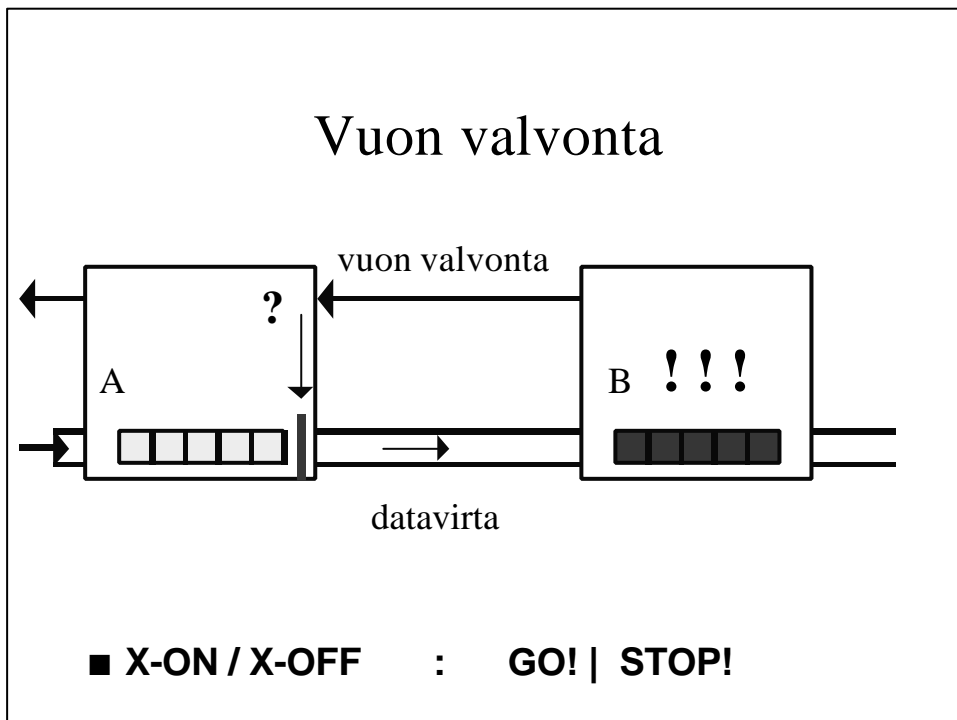
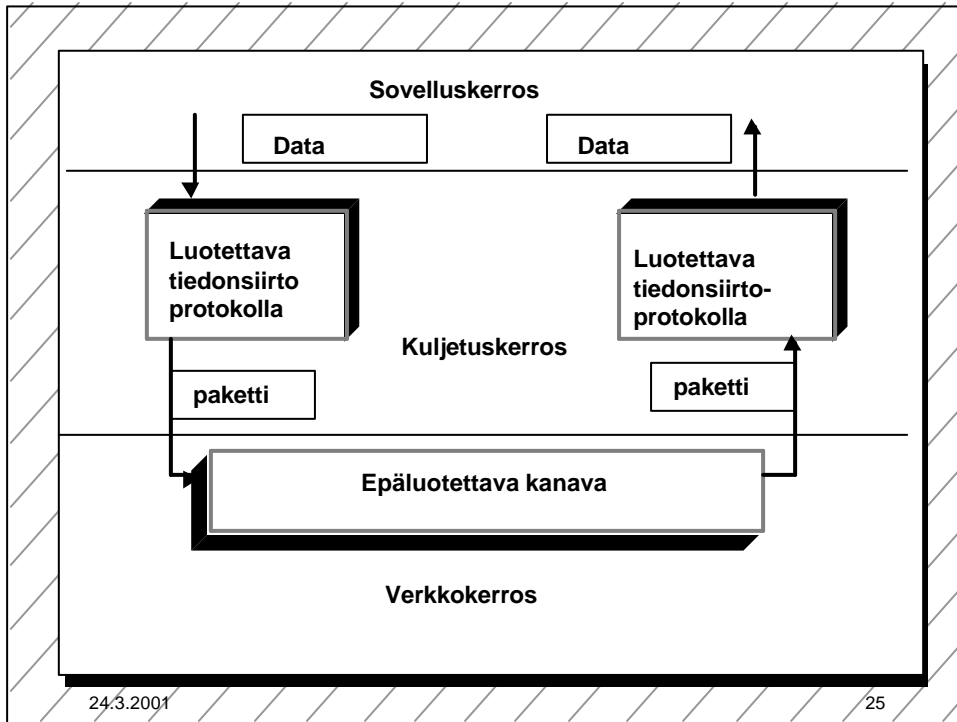
23

3.4 Luotettava tiedonsiirto

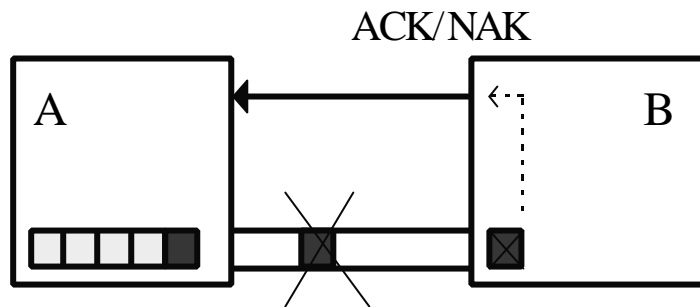


24.3.2001

24



Kohinainen kanava



- sanoma vääristyy => virhetarkistus
- sanoma katoaa => ajastin ja uudelleenlähetyks
 - duplikaattien havaitseminen

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 kiitauksia
 - **ideaali: lähetykset liukuhihnalla (pipeline)**
 - lähetykset ja kiitaukset limittyvät
 - ei mitään odottelua
 - lähetyiskanava koko ajan käytössä
 - suorituskyky kasvaa

Liukuvan ikkunan protokolla

(Sliding Window)

- **Lähetysikkuna**
 - **ikkunan koko**
 - montako sanomaa saa korkeintaan olla kiittaamatta
 - järkevä koko riippuu yhteyden tyypistä ja vastaanottajan kapasiteetista
 - **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 lähetyksikkunassa
- 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-sanomassa viimeksi vastaanotetun virheettömän sanoman numero**
 - **jotta kuittausduplikaatti ei voi kuitata väärää sanomaa**

entä kun tapahtuu virhe?

- kaksi eri tapaa hoitaa
- **toisto virheestä lähtien (go back n)**
- **valikoiva toisto (selective repeat)**

Paluu n:ään ('Go back n')

- virheellisen sanoman havaittuaan
 - vastaanottaja hylkää kaikkia sen jälkeiset sanomat
 - eikä lähetä niistä kuittauksia
- 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 kelpolliset 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!

■ NAK-kuittaus

- sanoma virheellinen tai puuttuu

24.3.2001

39

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

24.3.2001

40

- **NAK-kuittaukset voivat aiheuttaa turhia uudelleenlähetystyksiä**
 - 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 $0, 1, \dots, n$ ja eri numeroita siis käytettävissä $n+1$**
 - yleensä jokin kakkosen potenssi
- **ikkunan koko 'go back n':ssä voi olla korkeintaan n**
- **ikkunan koko valikoivassa toistossa voi olla korkeintaan $(n+1)/2$**

Kaksisuuntainen liikenne

- datakehys ja kuittauskehys
- kehyksessä sekä data että kuittaus
 - ‘piggybacking’
 - tehostaa lähetystä
- ongelma: kauanko kuittaja odottaa dataa ennen pelkän kuittauksen lähettämistä?

3.5. TCP-protokolla

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

6.2.2. Yhteyden muodostus ja purku TCP:ssä

■ TCP käyttää yhteyden muodostamiseen ja purkuun ns. kolminkertaista kättelyä (three-way handshake)

- välissä oleva verkko tekee yhteyden muodostamisen ja purun hankalaksi
 - viivästyneet sanomat => sanomille elinaika
 - sanomien numeroinnista sopiminen
- Bysanttilainen ongelma (two-army problem)
 - “hyökkään, jos olen varma, että sinäkin hyökkää”
 - symmetrinen yhteyden purku = molemmat osapuolet tietävät, että toinenkin on varmasti purkanut yhteyden

24.3.2001

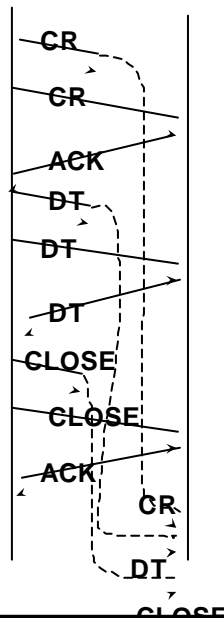
45

Yhteyden muodostus ruuhkaisessa verkossa

Jokainen paketti lähetetään kahteen kertaan

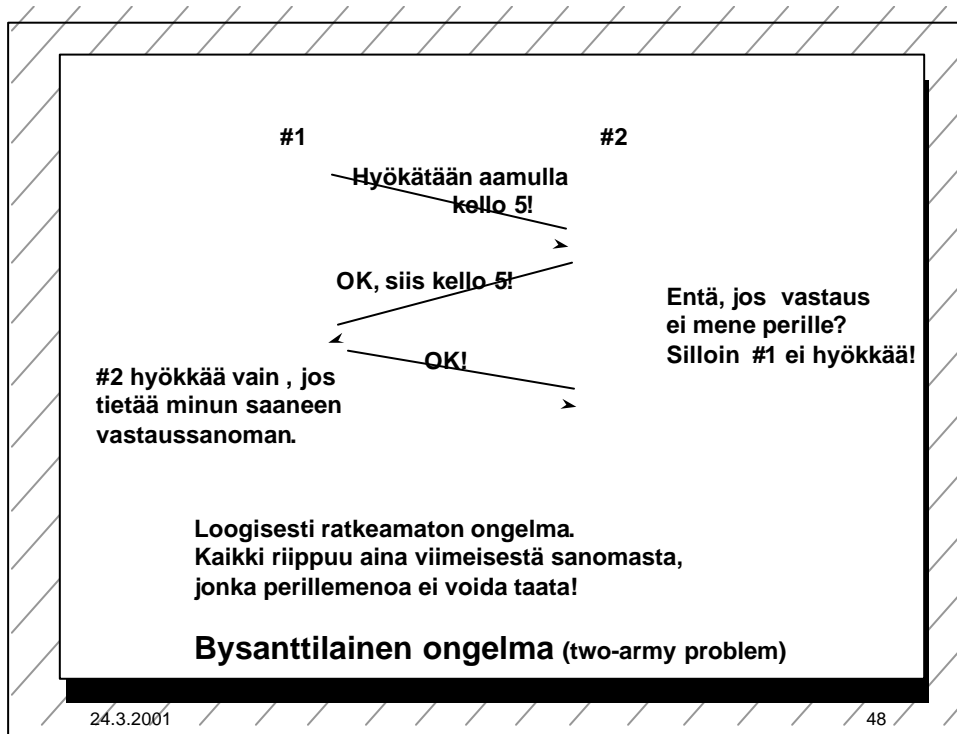
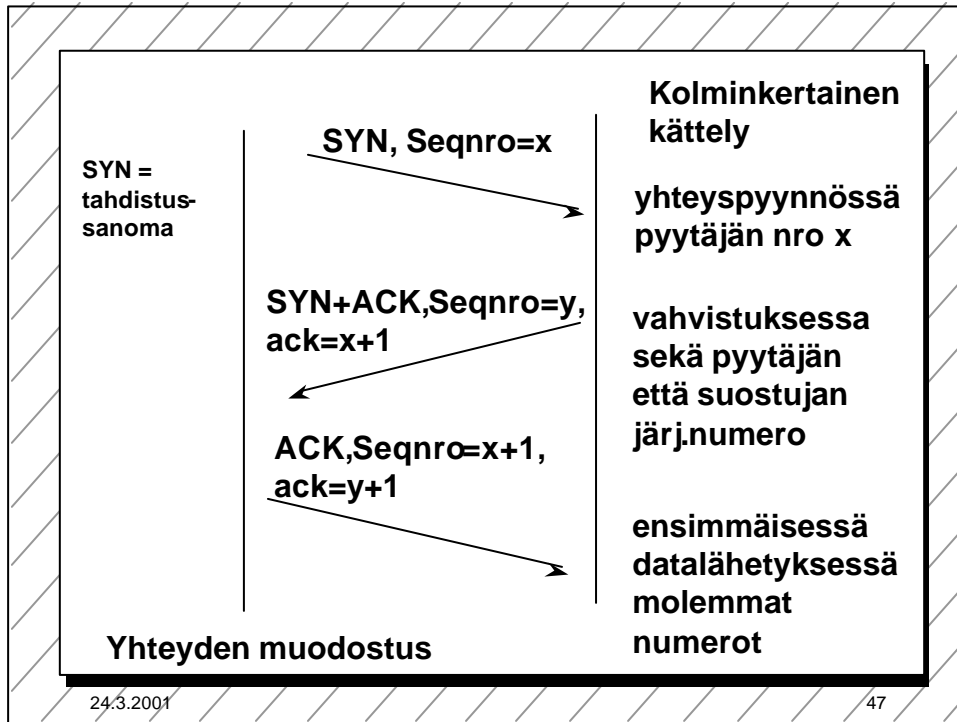
Kun yhteys on purettu, viivästyneet kaksoiskappaleet saapuvat

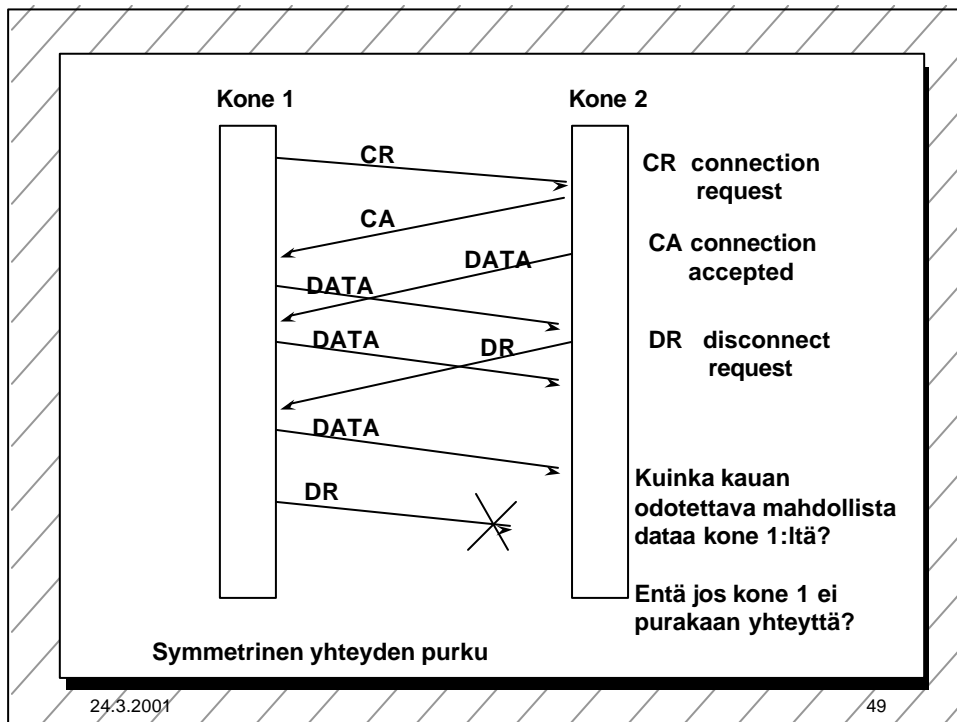
Ne tulkitaan uudeksi yhteydeksi, ja data otetaan vastaan kahteen kertaan!



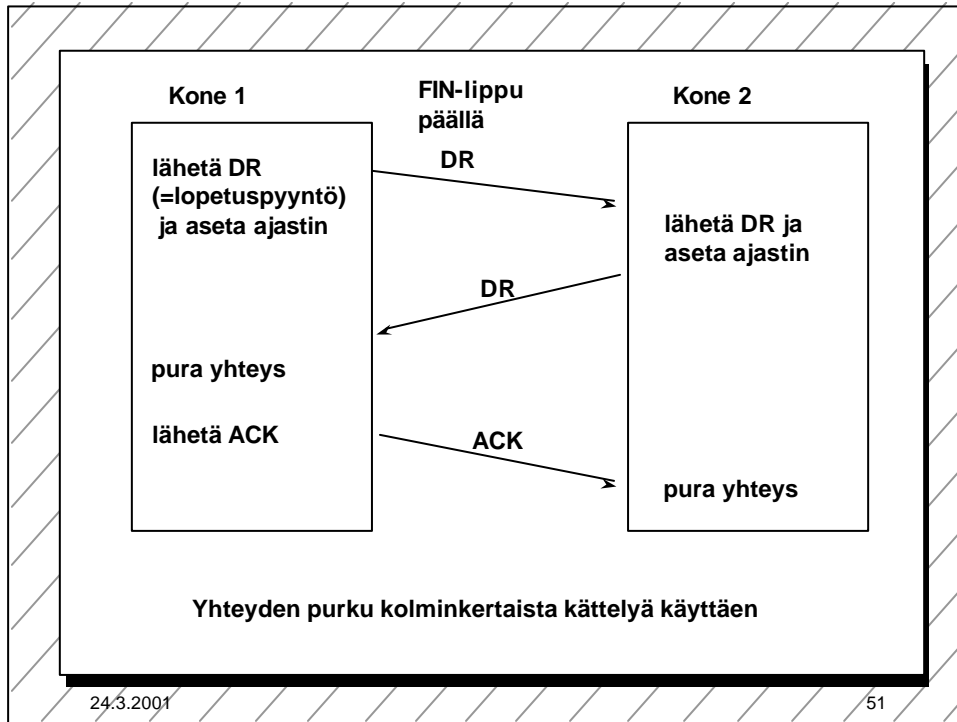
24.3.2001

46





- ## Yhteyden purku
- molemmat suunnat puretaan erikseen
 - TCP-segmentti
 - FIN = 1
 - ei enää dataa lähetettävä
 - kun saadan kuittaus => yhteys tähän suuntaan purettu
 - yhteys kokonaan purettu, kun molemmat suunnat purettu
 - purussa käytetään ajastimia
 - 2 * paketin maksimaalinen elinikä
- 24.3.2001 50



- ## 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
- 24.3.2001 52

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

Toistokuittaukset

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

TCP:n vuonvalvonta

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

24.3.2001

55

A

Esimerkki

B

<ehdottaa 8 puskuria >

<ack = 0, buf = 4 >

<seq = 0, data = m0 >

<seq = 1, data = m1 >

<seq = 2, data = m2 >

<ack = 1, buf = 3 >

<seq = 3, data = m3 >

<seq = 4, data = m4 >

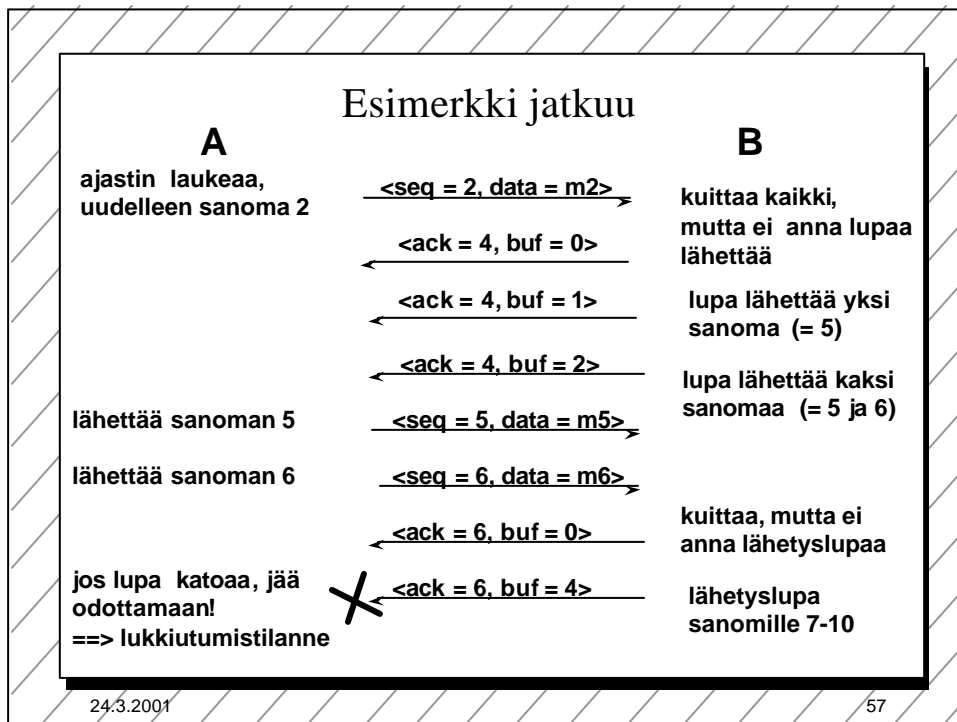
lupa vain sanomille 0-3

kuittaus sanomista 0 ja 1, lupa sanomille 2- 4,

puskurit käytetty,
A joutuu lopettamaan

24.3.2001

56



- jos ilmoitus lisäpuskureista katoaa, lähettäjä lukkiutuu odotustilaan
 - vastaanottaja voi luulla, ettei ole lähetettävää
 - lukkiutumisen estämiseksi
 - kun ikkunankoko = 0 lähettäjä ei saa lähettää, paitsi
 - pikadataa (URG)
 - yhden tavun 'kyselyn', jonka vastaanottaja kuittaa ja samalla ilmoittaa ikkunan koon
=> estää turhat lukkiutumiset
- 24.3.200158

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

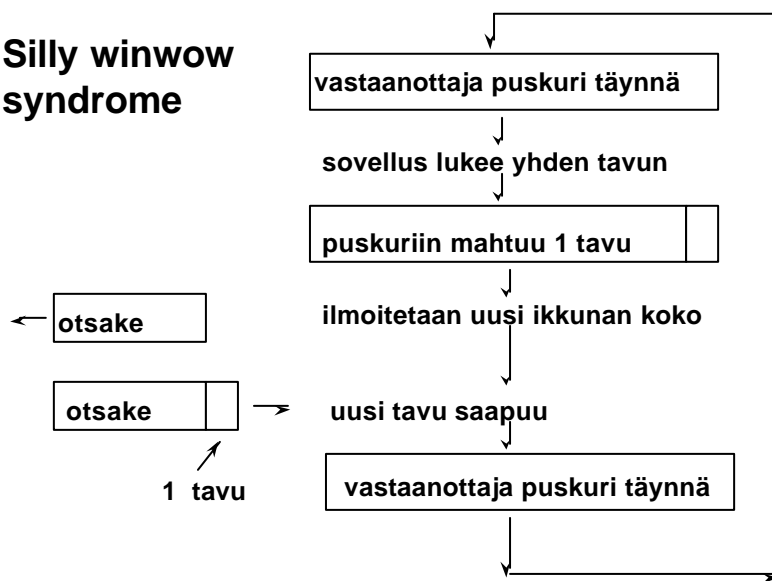
■ Ratkaisu: Naglen algoritmi

- 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 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 window syndrome



24.3.2001

63

TCP-segmentti

■ segmentti

■ 20 tavun otsake

- + optionaalinen osa

■ dataosa

- voi puuttua

■ segmentin kokoa rajoittaa

■ MTU (Maximum transfer unit)

- verkon rajoitus maksimikoolle (muutama tuhat tavua)

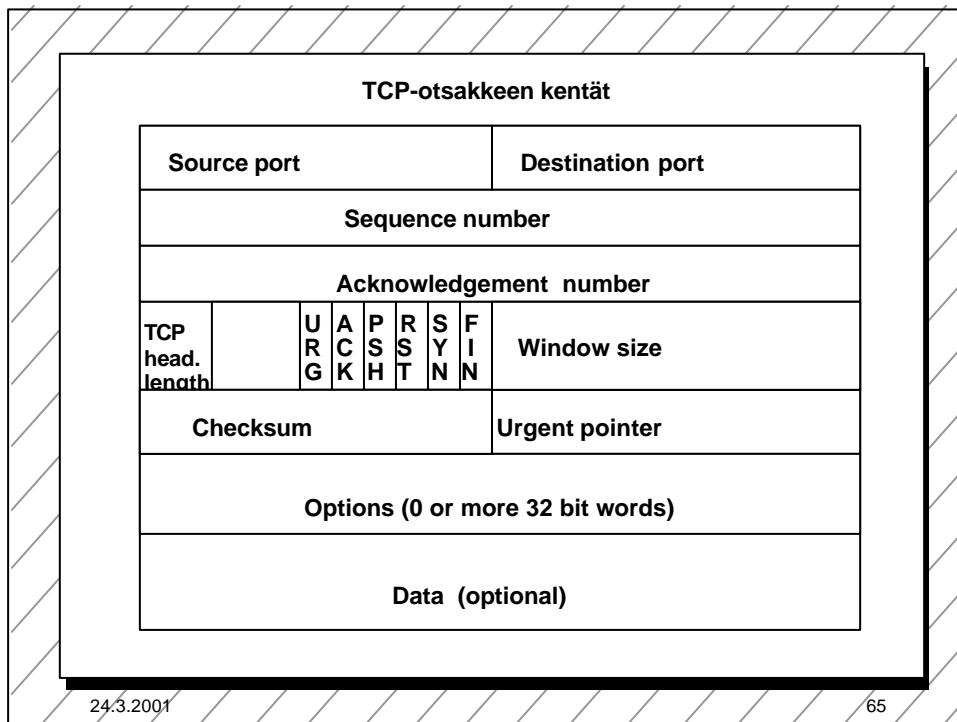
■ IP-paketin dataosa korkeintaan 65535 tavua

■ liian isot segmentit paloitellaan

■ joka palalle IP-otsake => yleisrasite kasvaa

24.3.2001

64



- 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**
- 24.3.2001 66

■ 6 lippubittä

- **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 lähetysohjeesta

■ 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 uudelleenlähetystyksiä

3.6. TCP:n ruuhkan valvonta

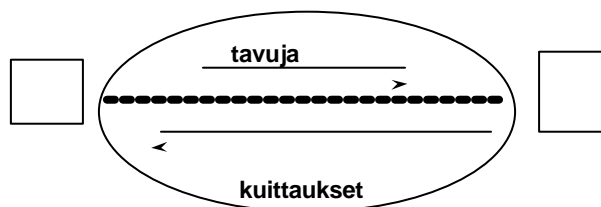
- Liikaa kuormitusta => verkko ruuhkautuu => hidastetaan lähettämistä
- Ruuhkan havaitseminen
 - nykyisin siirtovirheet harvinaisia
 - poikkeuksena langattomat verkot
 - => uudelleenlähetykset johtuvat ruuhkasta
 - uudelleenlähetyksajastimen laukeaminen on merkki ruuhkasta

24.3.2001

71

■ ruuhkaikkuna

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



24.3.2001

72

■ Ruuhkaikkunan koko?

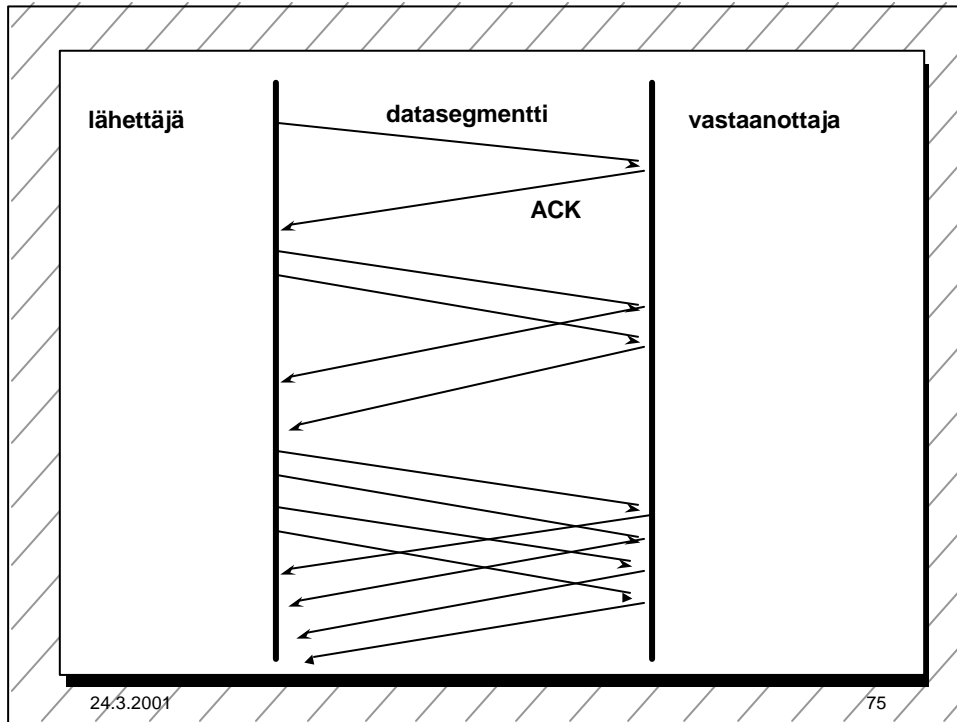
- Lähettäjän on itse pääteltävä ja arvioitava sopiva ruuhkaikkunan koko
 - kukaan muu ei sitä kerro!
 - timeout => on ruuhkaa
 - kuittaukset tulevat tasaisesti => ei ole ruuhkaa

■ Dynaaminen ruuhkaikkunan koko:

- ruuhkaikkunaa kasvatetaan kunnes törmätään ruuhkaan
- sen jälkeen ruuhkaikkunaa pienennetään reilusti
- ja aletaan uudestaan kasvattaa ruuhkaikkunaa

Hitaan aloituksen algoritmi (slow start)

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



- kynnysarvo (threshold)
 - 'varoitussarvo' = tästä lähtien syytä varoa ruuhkaa
 - aluksi 64 K
 - kynnysarvoon saakka voidaan kasvattaa ruuhkaikkunaa eksponentiaalisesti
 - kynnysarvon saavuttamisen jälkeen kasvatetaan ruuhkaikkunaa vain lineaarisesti
 - = kasvatetaan kuittausten jälkeen vain yhdellä
 - edetään hyvin varovaisesti!
- 24.3.2001 76

■ 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

Uudelleenlähetysajastimen hallinta

- uudelleenlähetysajastin (retransmission timer)
 - asetetaan aina kun segmentti lähetetään
 - ruuhkaa, jos kuitaus ei saavu ajoissa
- mikä on sopiva ajastimen aika?
 - kuitaus 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

$$RTT = \alpha RTT + (1-\alpha)M, \text{ tyypillisesti } \alpha = 7/8$$

■ uudelleenlähetyksajastimen arvo βRTT

- aluksi β oli aina 2
- parannus: otetaan huomioon myös poikkeama D (deviation) oletetun ja saadun kiertoviiveen välillä $|RTT-M|$

$$D = \alpha D + (1-\alpha)|RTT-M|$$

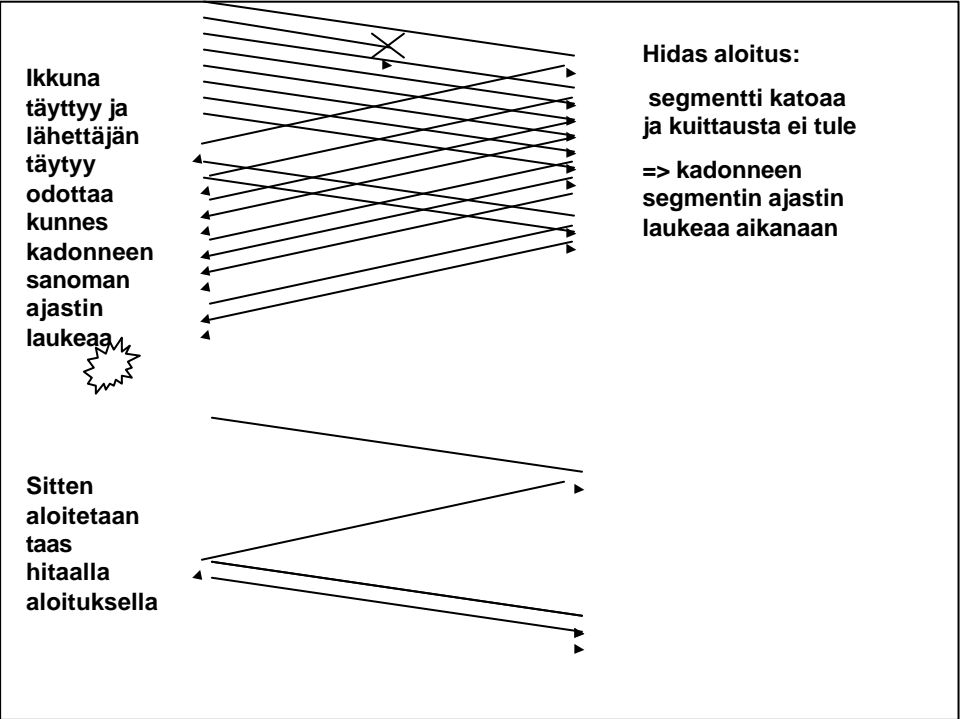
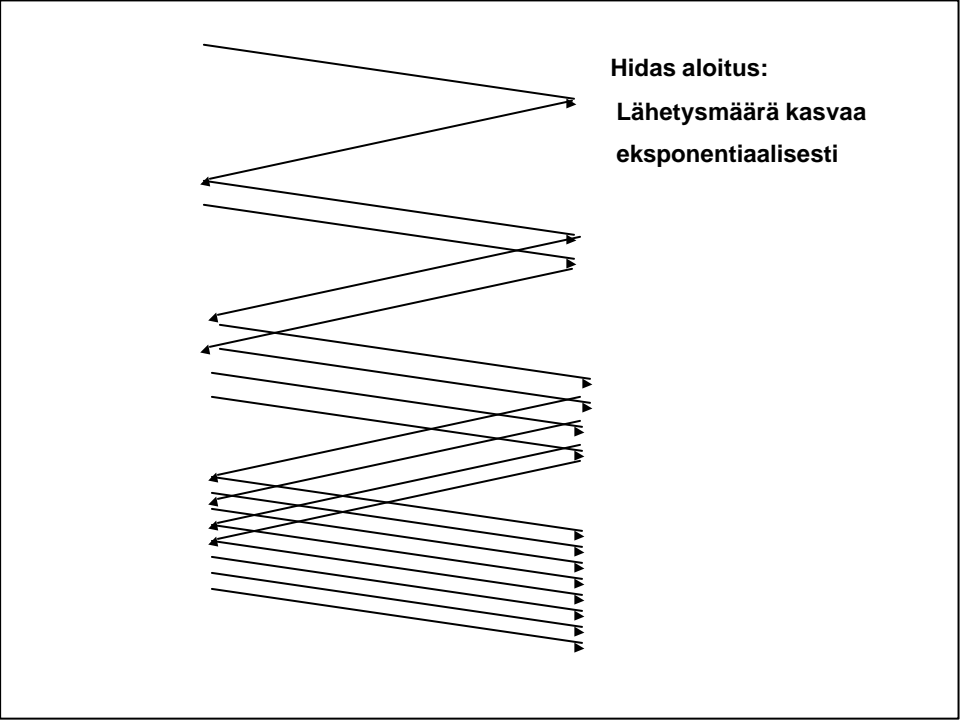
- ajastimen arvo = $RTT + 4 \cdot D$

■ uudelleenlähetyksen vaikutus ajastimeen

- kumpaan segmenttiin kuittaus kohdistuu?

■ Karnin algoritmi

- ei oteta huomioon uudelleenlähetyksen segmenttien kuittauksia RTT:n laskemisessa

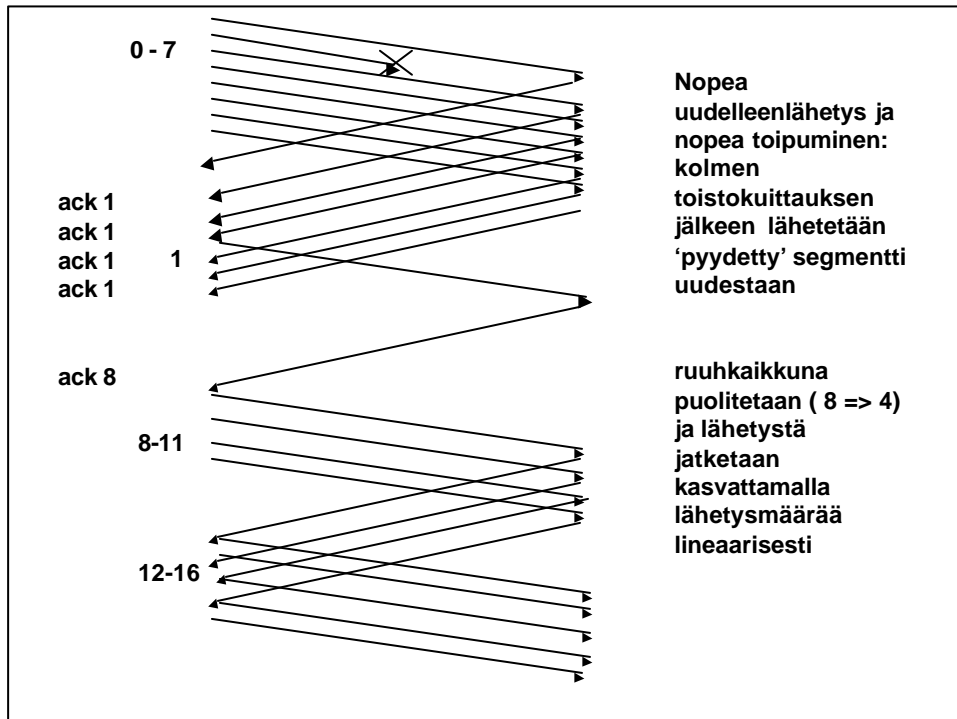


Parannuksia ruuhkanvalvontaan

- **Nopea uudelleenlähetys** (Fast Retransmit)
 - ei odoteta ajastimen laukeamista ennen uudelleenlähetystä
 - vastaanottaja kiittää jokaisen paketin
 - kun vastaanottaja huomaa puuttuvan paketin, se lähettää uudelleen edellisen paketin kiittauksen
 - Duplicate ACK (~ NAK)
 - kun lähettäjä saa useita (3) peräkkäisiä saman paketin toistokuittauksista=> 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



- hidas aloitus ja ruuhkan valvonta ongelmallisia langattomassa yhteydessä

- parannuksia

- tarkempi kello

- ruuhkan ennustaminen ennen ajastimen laukeamista

- early warning system

– => 40-70 % parempia tuloksia

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 pieneneisi 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

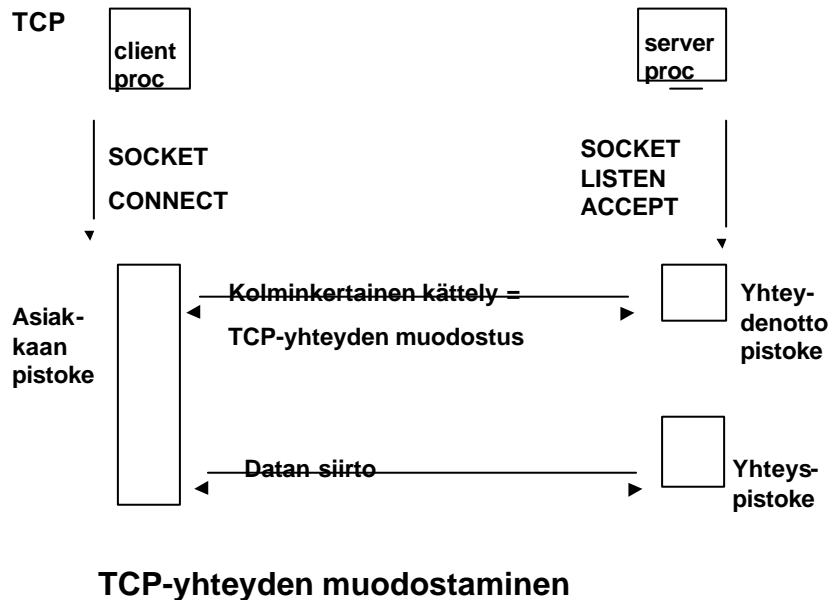


■ TCP-segmentti, jossa SYN-segmentti

- SYN = 1
- ACK = 0

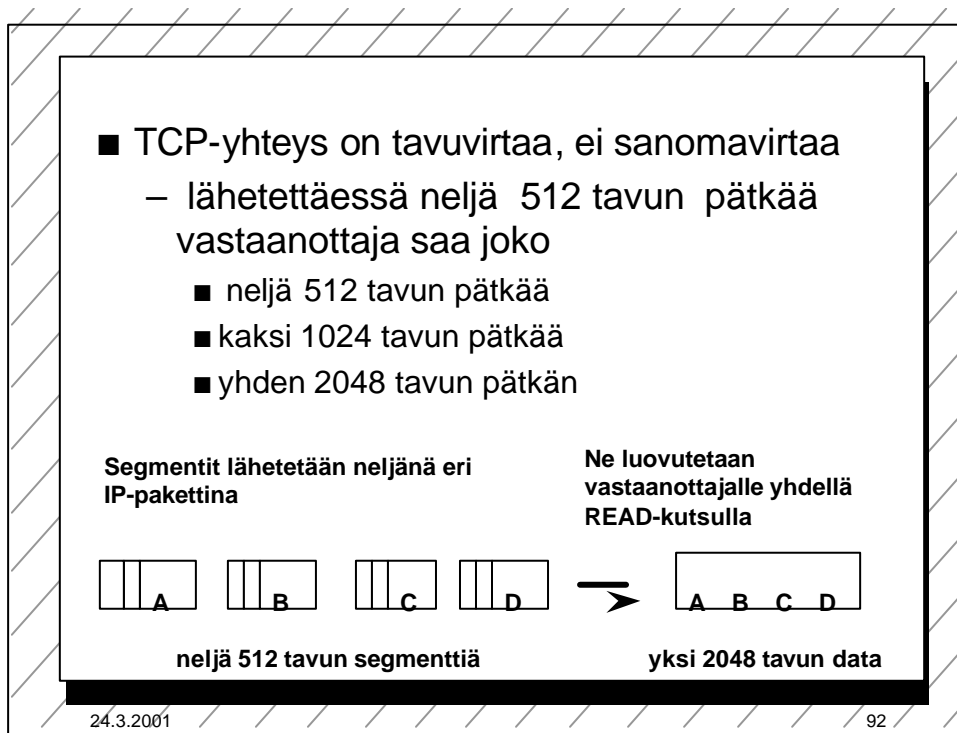
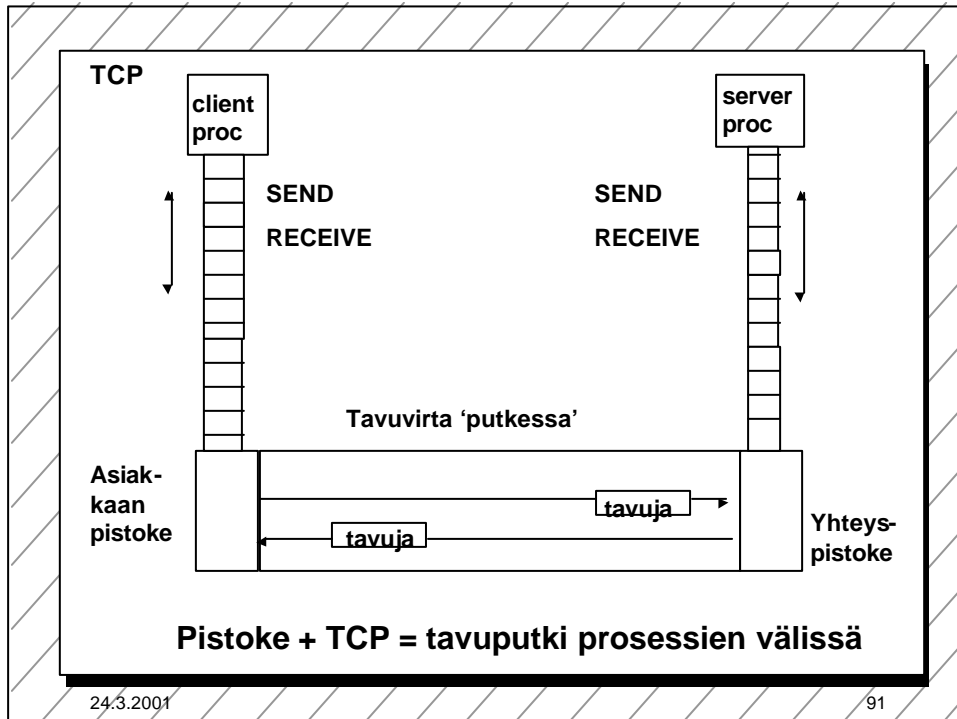
24.3.2001

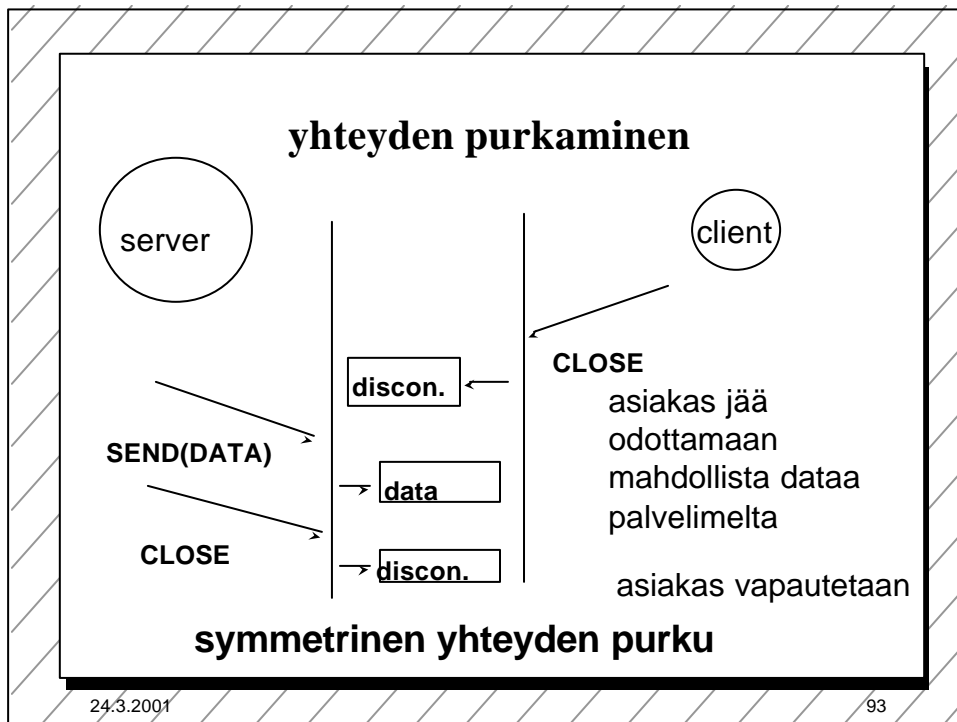
89



24.3.2001

90





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

24.3.2001 94

```
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 ServerSocket(6789);
- Socket connectionSocket = welcomeSocket.accept();
- (esimerkki kirjassa Kurose, Ross, Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Internet)

Pistokeohjelmointi

- Pistokeohjelmointia ja yleensä hajautettujen verkkosovellusten tekemistä opetellaan erillisellä kurssilla
 - **Verkkosovellusten toteuttaminen**
(järjestetään seuraavan kerran keväällä 2002)