

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

11/23/2002

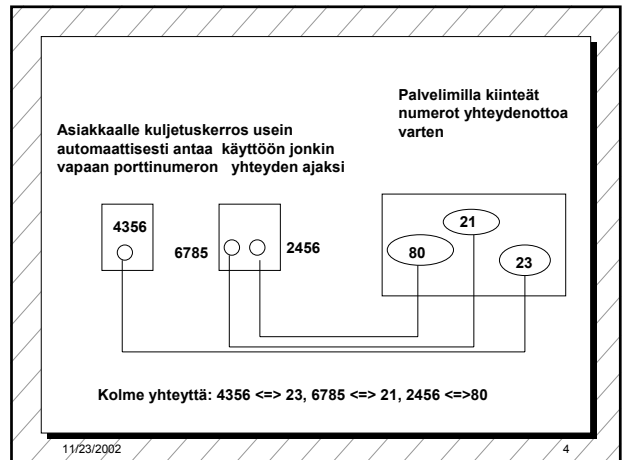
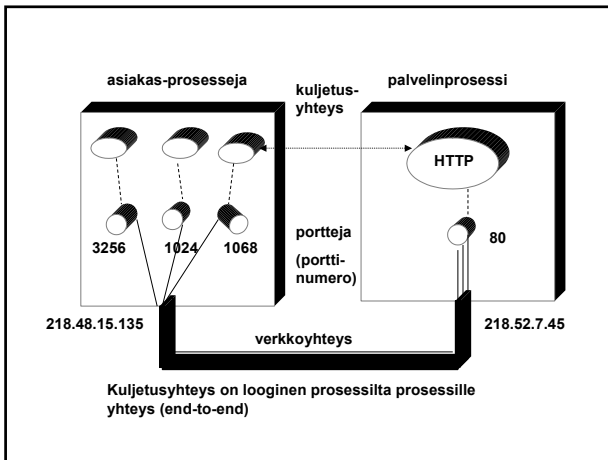
1

Sovelluksien datavirtojen erottaminen

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

11/23/2002

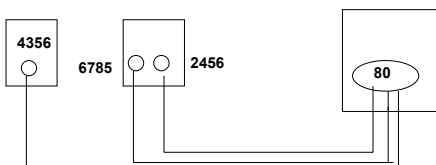
2



11/23/2002

4

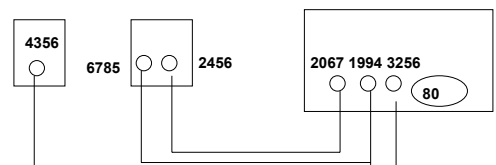
Tarvitaan sekä lähteen että kohteen porttinumerot



11/23/2002

5

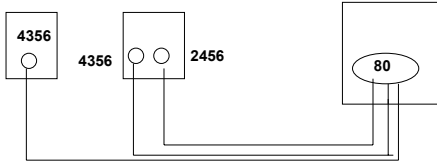
Palvelimissa yhteyksille uudet porttinumerot, jotta portti 80 voi ottaa vastaan uusia yhteyksipyyntöjä



11/23/2002

6

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

11/23/2002

7

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

11/23/2002

8

kuljetuspalvelut parantavat verkkopalveluja

Sovelluksen näkemä palvelun laatu (Quality of Service, QoS)

kuljetuskerroksen palvelut
verkkokerroksen palvelut

kuljetuskerroksen palvelut
verkkokerroksen palvelut

11/23/2002

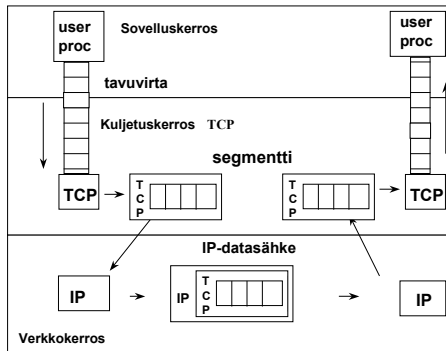
9

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

11/23/2002

10



TCP: prosessilta prosessille - tavuvirta

11/23/2002

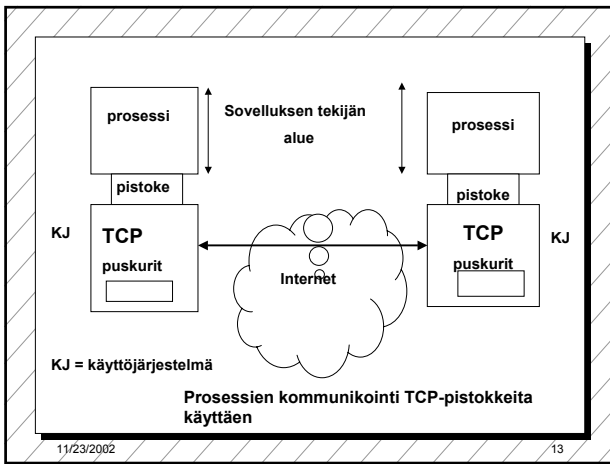
11

Pistokerajapinta (Socket interface)

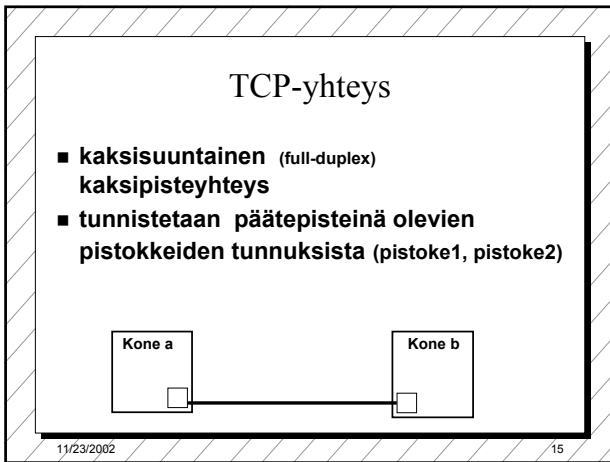
- **Verkkopalvelun ja sitä käyttävän sovelluksen rajapinta**
 - yleensä käyttöjärjestelmän tarjoama palvelu
 - pistokerajapinta alunperin Berkeley Unixin mukana, nyt lähes kaikissa käyttöjärjestelmissä
 - miten verkkoprotokollan tarjoamiin palveluihin päästään käsiksi sovelluksesta

11/23/2002

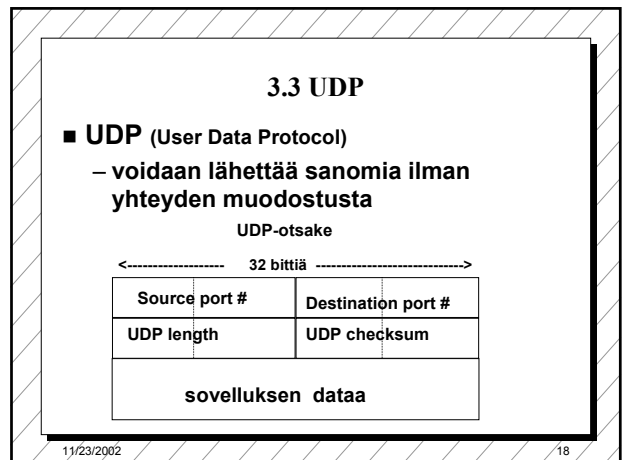
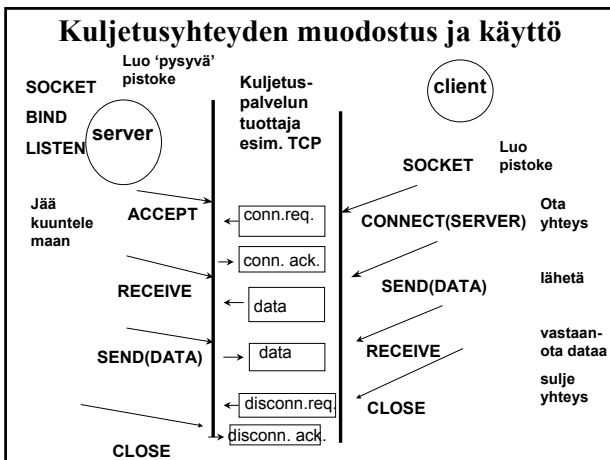
12



- pistoke (socket)
 - TCP-yhteyden päätepiste sovellukselle
 - lähettäjällä ja vastaanottajalla oma pistoke
 - pistokenumero 48 bittiä
 - koneen 32 bitin IP-osoite
 - 16 bitin porttinumero
- 11/23/2002 14



- ### TCP:n pistokeprimitiivit
- SOCKET luo uusi yhteydenpäätepiestepistoke
 - BIND anna pistokkeelle osoite
 - LISTEN halukas vastaanottamaan yhteyksiä
 - ACCEPT jää odottamaan yhteyksyrityksiä
 - CONNECT yritä muodostaa yhteys
 - SEND lähetä dataa yhteyttä pitkin
 - RECEIVE vastaanota dataa yhteydeltä
 - CLOSE pura yhteys (symmetrinen)
- 11/23/2002 16



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!

11/23/2002

19

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

11/23/2002

20

- Miksi tarvitaan tarkistussumma?

- Kaikki siirtoyhteyserrokset eivät suorita tarkistuksia

- UDP-tarkistussumma ei ole kovin tehokas havaitsemaan virheitä!

- Se ei myöskään yritä toipua virheitä!

- Jotkut toteutukset voivat tuhota virheellisen segmentin
- jotkut antavat se sovellukselle varoituksen kera

11/23/2002

21

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

11/23/2002

22

Tehtäviä:

- Lähetetään 10 tavun viesti UDP:llä.
 - Miten kauan kestää lähettäminen, jos lähetyksenopeus on 56 kbps?
 - 10 tavua + 8 tavua = 18 * 8 b = 144 bittiä
 - 144 b / 56 000 b/s = 2.57 ms
 - Miten suuri on etenemisiivie, 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 %

11/23/2002

23

UDP:n käyttö

- Vaikka UDP on epäluotettava, se sopii monien sovellusten tarpeisiin:

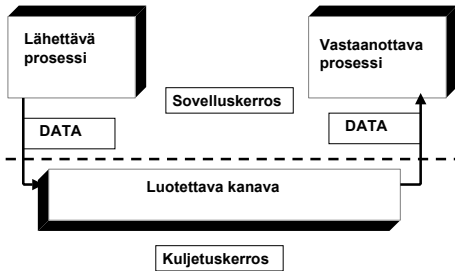
- Remote file server (NFS)
- multimedia
- Internet-puhelin
- verkon hallinta (SNMP)
- reititys (RIP)
- nimipalvelu (DNS)

- Miksi nämä sovellukset suosivat UDP:tä?

11/23/2002

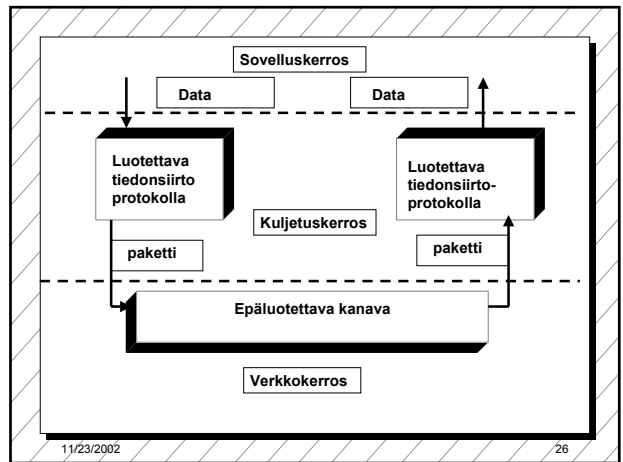
24

3.4 Luotettava tiedonsiirto



11/23/2002

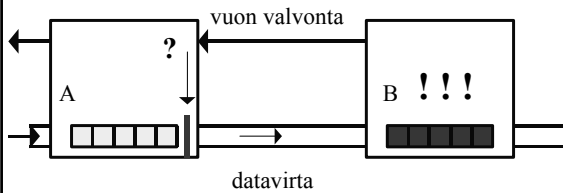
25



11/23/2002

26

Vuon valvonta



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

Kohinainen kanava



- sanoma vääristyy => virhetarkistus
- sanoma katoaa => numerointi, ajastin ja uudelleenlähetyks
 - 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) lähittäjälle

11/23/2002

29

Entä jos virheitä?

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

11/23/2002

30

Monimutkaisempi "stop and wait"-protokolla

■ ajastin lähettäjälle

- jos kuittausta ei kuulu, sanoma lähetetään automaattisesti uudelleen
- kuittaus: ACK = 'ok, lähetä seuraava'
- uudelleenlähetyksen 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
 - lähetykskanava koko ajan käytössä
- suorituskyky kasvaa

Liukuvan ikkunan protokolla

(Sliding Window)

■ Lähetyksikkuna

- 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

11/23/2002

33

■ Lähettäjä joutuu odottamaan vasta, kun kaikki ikkunan sanomat on lähetetty

- eli numerot käytetty

■ Kun kuittaus saapuu => ikkuna liikuu

- seuraavat numerot tulevat luovalliseksi

■ eli

- lähettäjä: tietyllä hetkellä sallittujen numeroiden joukko = lähettäjän ikkuna
 - mitkä sanomat saa lähettää "etukäteen" odottamatta kuittausta

11/23/2002

34

■ 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-sanoma identifioi viimeksi vastaanotetun virheettömän sanoman

- jotta kuittausduplikaatti ei voi kuitata väärää sanomaa
- ACK ilmoittaa joko
 - » seuraavaksi odotetun sanoman numeron
 - » viimeksi vastaanotetun sanoman numeron

11/23/2002

36

- 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 lähetyksikuna 'täyttyy'
 - eikä se voi enää lähettää
- lähettäjä 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

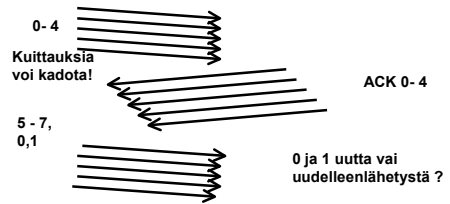
- Kun käytetty numeroavaruus on $0, 1, \dots, n$ ja eri numeroita siis käytettävissä $n+1$
 - yleensä jokin kakkosen potenssi
 - » koska numerokentän koko k bittinä => käytössä 2^{k-1} numeroa
- ikkunan koko 'go back n':ssä voi olla korkeintaan n
 - eli oltava ainakin yhtä pienempi kuin numeroavaruus
- ikkunan koko valikoivassa toistossa voi olla korkeintaan $(n+1)/2$
 - saa olla korkeintaan puolet numeroavaruudesta

11/23/2002

43

Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 5, numeroavaruus 8

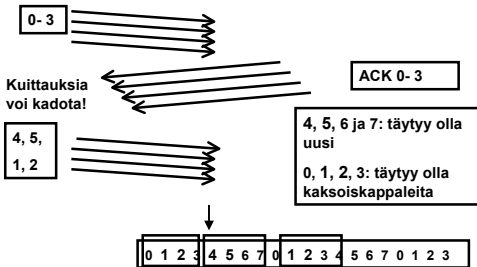


11/23/2002

44

Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 4, numeroavaruus 8



11/23/2002

45

Kaksisuuntainen liikenne

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

11/23/2002

46

3.5. TCP-protokolla

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

11/23/2002

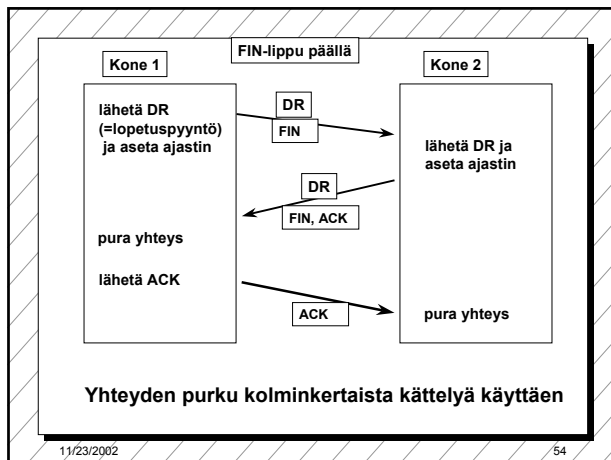
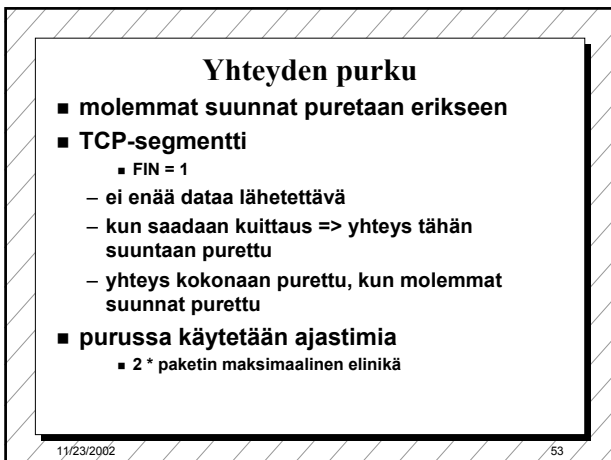
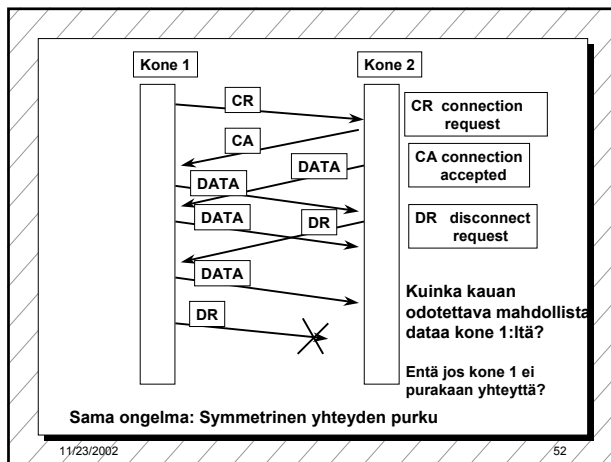
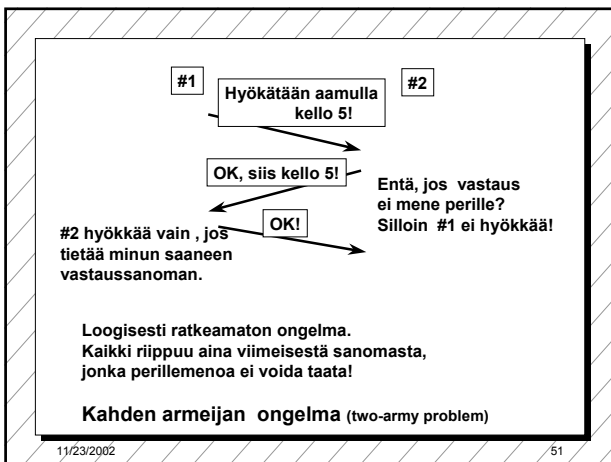
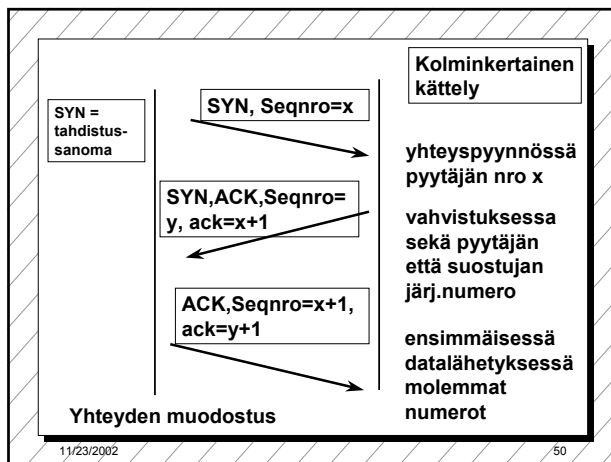
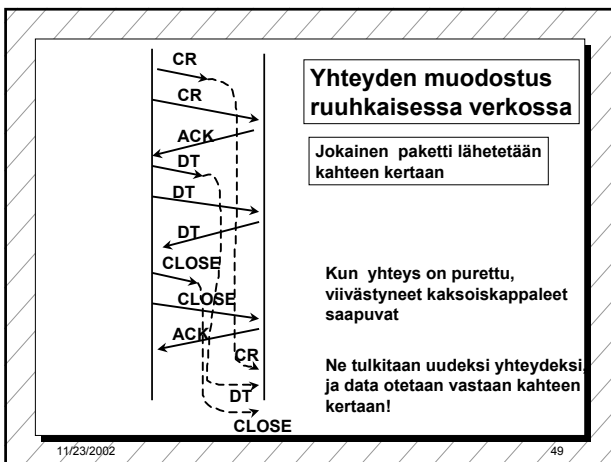
47

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

11/23/2002

48



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

11/23/2002

55

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-kuittaus, joka kertoo, mitkä segmentit on vastaanotettu ok

11/23/2002

56

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

11/23/2002

57

TCP:n vuonvalvonta

'joustava' liukuva ikkuna (sliding window) ("credit-vuonvalvonta")

vastaanottaja kertoo, kuinka paljon suostuu vastaanottamaan

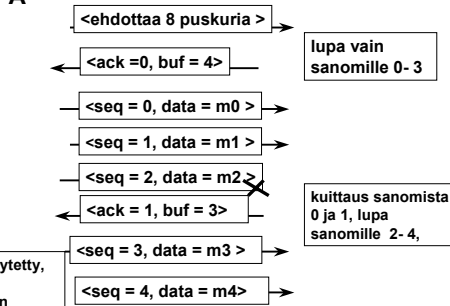
- => kuittaus irroitettu vuonvalvonnasta
- puhtaassa liukuvassa ikkunassa kuittaus siirtää ikkunaa
- AdvertisedWindow-kenttä
 - paljonko saa lähettää = paljonko vastaanottajan puskureihin mahtuu

myös ruuhkan valvonta rajoittaa lähettämistä

11/23/2002

58

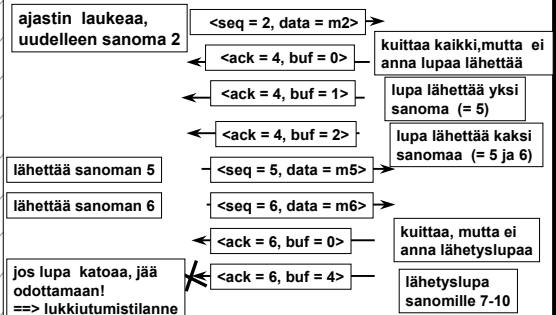
Esimerkki



11/23/2002

59

Esimerkki jatkuu



11/23/2002

60

- 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

11/23/2002

61

Siirron optimointi

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

11/23/2002

62

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

11/23/2002

63

■ Ratkaisu: Naglen algoritmi

- jos data tulee tavuttain
 - lähetä 1. tavu
 - kerää sitä seuraavat tavut puskuuriin 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!

11/23/2002

64

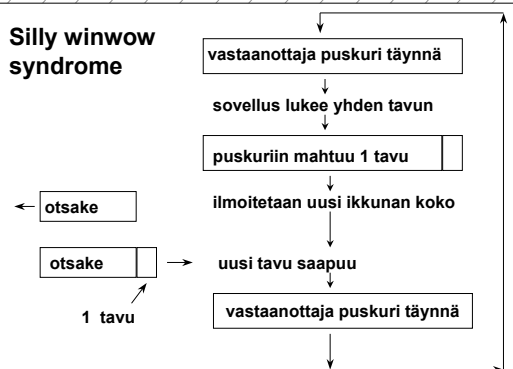
Silly window syndrome

- 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

11/23/2002

65

Silly window syndrome



11/23/2002

66

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

11/23/2002

67

TCP-otsakkeen kentät

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

11/23/2002

68

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**

11/23/2002

69

6 lippubittiiä

- **URG** onko pikadataa
pikadatan sijainnin ilmoittaa
pikadatakenttä (Urgent pointer)
- **ACK** onko kuittauskenttä käytössä
- **PSH** onko hetilähetettävää (pushed) dataa
- **RST** yhteyden uudelleenaluspyyntö (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

11/23/2002

70

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

11/23/2002

71

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!

11/23/2002

72

■ 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

11/23/2002

73

3.6. TCP:n ruuhkan valvonta

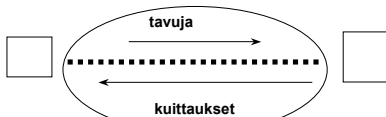
- Liikaa kuormitusta => verkko ruuhkautuu => hidastetaan lähettämistä
- Ruuhkan havaitseminen
 - nykyisin siirtovirheet harvinaisia
 - poikkeuksena langattomat verkot
 - => uudelleenlähetystykset johtuvat ruuhkasta
 - uudelleenlähetysajastimen laukeaminen on merkki ruuhkasta

11/23/2002

74

■ ruuhkaikkuna

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



11/23/2002

75

■ 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

11/23/2002

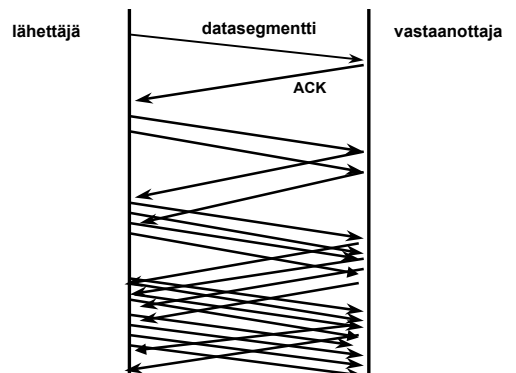
76

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

11/23/2002

77



11/23/2002

78

- **kynnysarvo (threshold)**
 - aluksi 64 K
 - 'varoitussarvo' = 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!

11/23/2002

79

- **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

11/23/2002

80

Uudelleenlähetyksajastimen hallinta

- **uudelleenlähetyksajastin** (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

11/23/2002

81

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

$$RTT = \alpha RTT + (1 - \alpha)M$$
 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 = $RTT + 4 \cdot D$

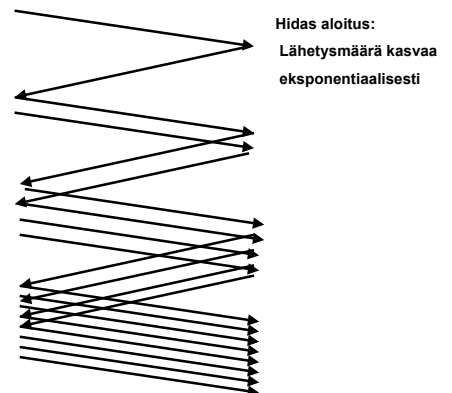
11/23/2002

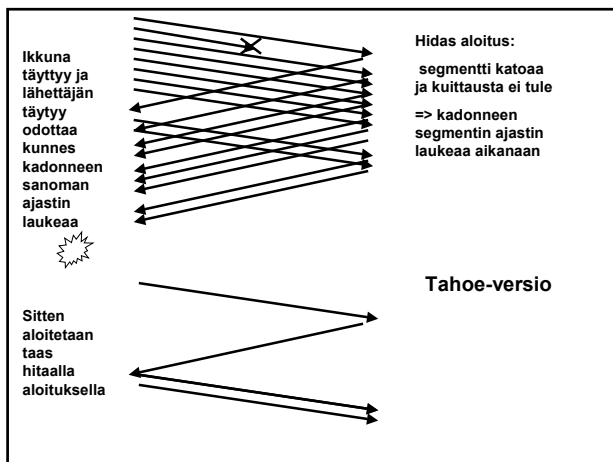
82

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

11/23/2002

83





Parannuksia ruuhkanvalvontaan

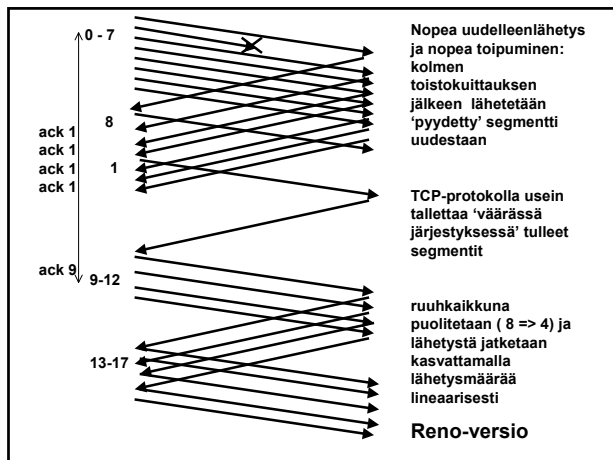
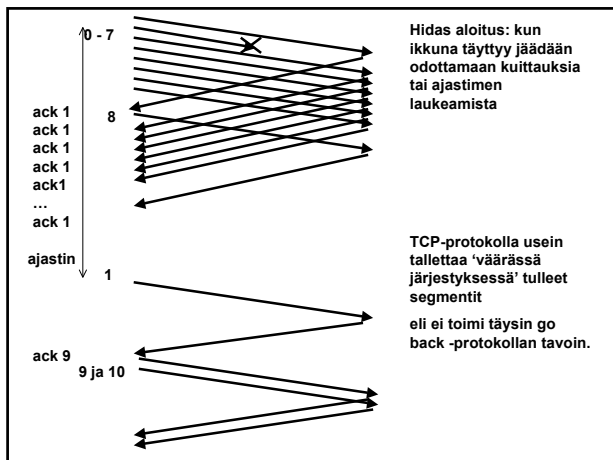
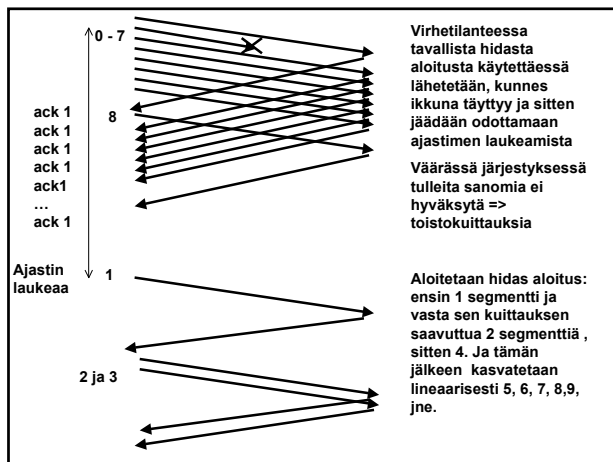
- **Nopea uudelleenlähetyt** (Fast Retransmit)
 - ei odoteta ajastimen laukeamista ennen uudelleenlähetytstä
 - vastaanottaja kuittaa jokaisen paketin
 - kun vastaanottaja huomaa puuttuvan paketin, se lähettää uudelleen edellisen paketin kuittauksen
 - Duplicate ACK (~ NAK)
 - kun lähettäjä saa useita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

11/23/2002 86

■ 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?

11/23/2002 87



- 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?

11/23/2002

91

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!

11/23/2002

92

TCP-yhteyden hallinta

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

11/23/2002

93

■ CONNECT-primitiivi

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

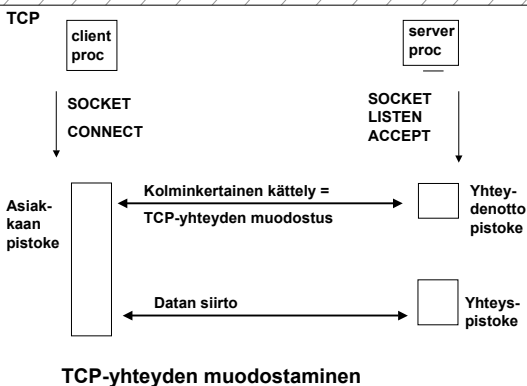


■ TCP-segmentti, jossa SYN-segmentti

- SYN = 1
- ACK = 0

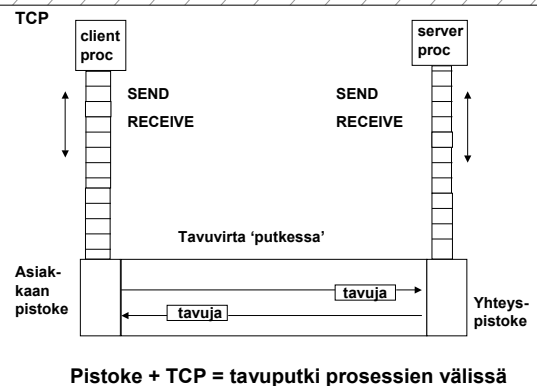
11/23/2002

94



11/23/2002

95



11/23/2002

96

- 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

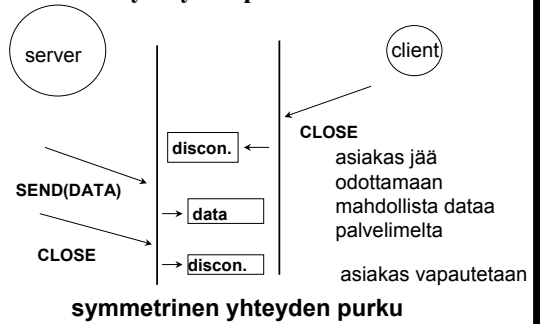
Ne luovutetaan vastaanottajalle yhdellä READ-kutsulla



11/23/2002

97

yhteyden purkaminen



11/23/2002

98

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)

11/23/2002

99

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

11/23/2002

100

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)

11/23/2002

101

Pistokeohjelmointi

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

11/23/2002

102

Yhteenveto

■ Kuljetuskerroksen palvelut

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

11/23/2002

103

