

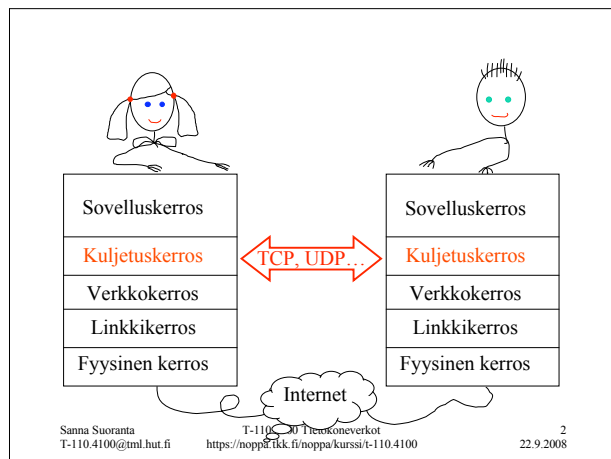
Kuljetuskerroksen protokollat

User Datagram Protocol (UDP)
Transmission Control Protocol (TCP)

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

1
22.9.2008



Kuljetuskerroksen tarkoitus

- Kuljetuskerros tarjoaa viestintää sovellukselta sovellukselle (= päästä-päähän viestintä)
 - Jonkinlainen yhteys
 - Voi olla luotettavaa tai epäluotettavaa
- Useamman eri sovelluksen mahdollista käyttää

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

3
22.9.2008

Luotettava vai epäluotettava?

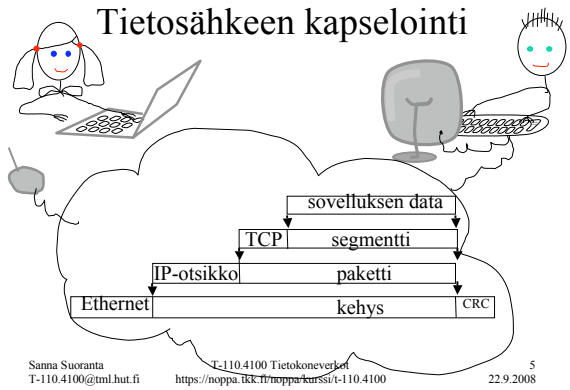
- TCP – luotettava kuljetuspalvelu
 - Asiakas-palvelu-mallin sovellukset, jossa tila
 - esim. tiedostonsiirto ja sähköposti (store&forward)
- UDP – best effort –kuljetuspalvelu
 - Pyyntö-vastaus-mallin sovellukset, tilaton
 - Tehokkuutta tarvitsevat, joille kuittaukset ei riitä
 - esim. verkohallinta ja tosiaikapalvelut (kuittausten lisäksi aikaleimat)

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

4
22.9.2008

Tietosähkeen kapselointi



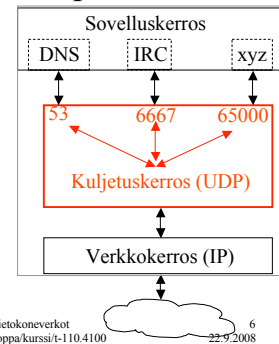
Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

5
22.9.2008

Portit ja (de)multipleksaus

- Tunnetut portit
 - standardiprotokollille
 - RFC 2780 (&4443)
 - 0-1023
- Rekisteröidyt portit
 - palveluille
 - 1024-49151
- Dynaamiset/yksityiset portit
 - 49152-65535



Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

6
22.9.2008

UDP:n ja TCP:n tarkastussumma

- Tarkastussumma lasketaan pseudo-otsikosta, kuljetuskerroksen otsikosta ja datasta
 - Tarkastussumma on nolla ennen laskentaa
 - Jaetaan 16 bitin lohkoihin ja lasketaan yhden komplementtisumma lohkoista
 - Otetaan lopputuloksesta yhden komplementti
 - Kaksi nollan arvoa: toinen ”summa on nolla” (ykkösiä) (ja UDP:ssä toinen ”käyttämättä” (nollia))

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

7
22.9.2008

Pseudo-otsikko

0	8	16	31
LÄHTEEN IP-OSOITE			
KOHTEEN IP-OSOITE			
NOLLA	PROTOKOLLA	KULJ. PAKET. PITUUS	

- Pseudo-otsikkoa käytetään varmistamaan, että paketti on saavuttanut oikean määränpään
 - IP-osoitteet IP-otsikosta
 - Protokollan numero (17 = UDP, 6 = TCP) IP-otsikosta
 - Kuljetuskerroksen tietosähkeen koko
- Pseudo-otsikkoa ei lähetetä verkon yli

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

8
22.9.2008

User Datagram Protocol (UDP)

s. 326-330

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

9
22.9.2008

User Datagram Protocol (UDP)

- Kevyt protokolla
 - IP:n toiminnallisuuden ”lisäksi” portit
 - Sovelluskerroksen toimittama data pakataan sellaisenaan kuljetettavaksi (ei pilkota)
- Epäluotettava yhteydetön palvelu
 - Ei kuittauksia eikä uudelleenlähetyistä
 - Tarkastussumma (virheiden havaitsemiseksi) on vapaaehtoinen IPv4:ssä ja pakollinen IPv6:ssa

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

10
22.9.2008

UDP tietosähke

0	16	31
UDP LÄHDE PORTTI	UDP KOHDEPORTTI	
UDP VIESTIN PITUUS	UDP TARKASTUSSUMMA	
DATA ...		

- Lähdeportti ja tarkastussumma ovat vapaaehtoisia
 - Tarkastussumma pakollinen IPv6:n kanssa
- Pituus: otsikko ja data okteetteina
- Portit toimivat aliosoitteina isäntäkoneen sisällä

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

11
22.9.2008

Yhteenveto UDP:stä

- UDP tarjoaa yhteydettömän epäluotettavan kuljetuspalvelun
- UDP lisää IP:n palveluun vain multipleksauksen (portit)

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

12
22.9.2008

Lähteet

- RFC 768 - User Datagram Protocol, 1980
- RFC 1122 - Requirements for Internet Hosts - Communication Layers, 1989
- <http://www.iana.org/numbers.html>
- Katsokaa digitaali­tekniikan kirjasta komplementtisummien laskemisesta (S-88.1110)

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokone­verkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

13
22.9.2008

Transmission Control Protocol

s. 280-326

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokone­verkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

14
22.9.2008

(sisällysluettelo)

- TCP yleisesti: ominaisuus ja yhteys
- TCP-otsikko
- Yhteyden avaus ja sulkeminen (tilakone)
- Kuittaukset ja uudelleen­lähetys
- Lähetys- ja vastaanotto­ikkunat
- Ruuhkanhallinta

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokone­verkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

15
22.9.2008

TCP:n ominaisuudet

- Transmission Control Protocol (TCP)
 - Yhteydellinen
 - Päästä-päähän (prosessilta-prosessille)
 - Luotettava (ei kuitenkaan turvallisuusmielessä)
 - Kaksisuuntainen
- Sovellukset tarvitsevat usein luotettavaa yhteyttä epäluotettavan verkon yli

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokone­verkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

16
22.9.2008

Luotettavan kuljetuspalvelun ominaisuudet

- Virtaorientoitunut (stream orientation)
 - Strukturoimaton virta (unstructured stream)
- Virtuaalinen piirikytkentä (virtual circuit connection)
- Puskuroitu tiedonsiirto (buffered transfer)
- Kaksisuuntainen (full duplex connection)

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 17
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Luotettavan kuljetuspalvelun toteutus

- Perustiedonsiirto
- Luotettava (tieto menee perille) (reliability)
- Vuonvalvonta (flow control)
- Limitys (multiplexing)
- Yhteydet (connections)
- Palvelunlaatu ja turvallisuus

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 18
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Yhteys

- Tunniste: kaksi päätepistettä (endpoint)
 - Päätepiste: (isäntäkone, portti) -pari
 - esim: (130.233.45.31, 6000) & (130.233.220.31, 85)
- Yhteyden hallitsemiseen tarvittavaa tilatietoa
 - Ikkunoiden koot,
 - soketit (sockets),
 - sekvenssinumerot, jne

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 19
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

TCP-otsikko (RFC 793)

```

0                               10                               20                               31
+-----+-----+-----+-----+
|  Lähdeportti      |                               |  Kohdeportti      |
+-----+-----+-----+-----+
|                               |  Sekvenssinumero      |
+-----+-----+-----+-----+
|                               |  Kuittausnumero      |
+-----+-----+-----+-----+
|  otsi- |  |U|A|P|R|S|F|                               |
|  kon   |  Varattu |R|C|S|S|Y|I|                               |  Ikkunan koko
|  pituus|  |G|K|H|T|N|N|                               |
+-----+-----+-----+-----+
|  Tarkastussumma   |                               |  Urgent-pointteri   |
+-----+-----+-----+-----+
|                               |  Optiot               |  Padding      |
+-----+-----+-----+-----+
|                               |  data                 |
+-----+-----+-----+-----+

```

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 20
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

TCP:n optiot

- 2 = Suurin sekmentin koko (yhteyttä avatessa)
 - Yhteyttä muodostettaessa osapuolet sopivat suurimman sallitun sekmentin koon (maximum segment size MSS)
- 1 = No-operation
 - Joskus optioiden välissä
- 0 = Optioiden loppu
 - Kaikkien optioiden jälkeen

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

21
22.9.2008

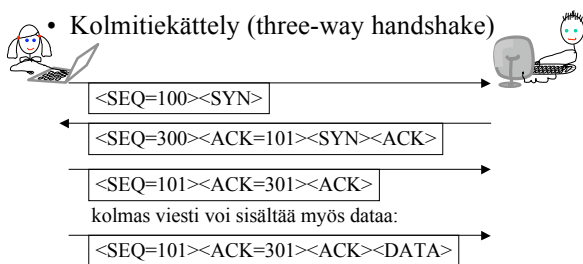
Sekvenssinumerot

- Käytetään kuittauksissa
- Alkaa jostain arvosta (ei aina ykkösestä)
- Laskee tietovuon oktetteja alkuarvosta eteenpäin
- Käytetään kumpaankin suuntaan erillisiä

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

22
22.9.2008

Yhteyden muodostus



Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

23
22.9.2008

Yhteyden sulkeminen

- Modifioitu kolmitiekättely
- Jos toisella osapuolella ei ole enää dataa lähetettäväksi, yhteys voidaan sulkea yhteen suuntaan:
 - Lähettäjä lähettää sekmentin, jossa FIN-bitti asetettu
 - ← Vastaanottaja kuittaa viestin
 - Kun toiseenkin suuntaan lähetettävä data loppuu
 - ← Vastaanottaja lähettää FIN-viestin
 - Lähettäjä kuittaa viestin

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

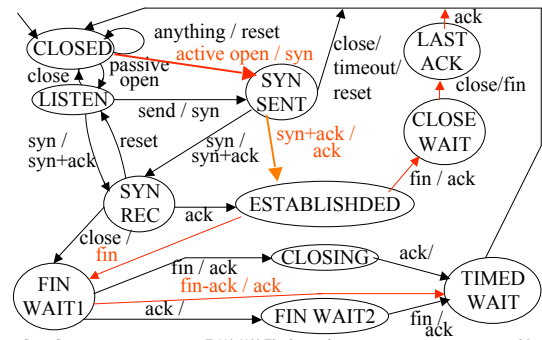
24
22.9.2008

Keepalive

- TCP-yhteydet pitää sulkea erikseen
 - Sulkemattomat yhteydet kuormittavat palvelimia
- Palvelin saattaa pitää ajastinta tarkastaakseen, että asiakas on edelleen ”hengissä”
 - Palvelin lähettää segmentin, jonka sekvenssinumero on jo käytetty (edellinen)
 - Asiakas lähettää kuittauksen (seuraavaksi odottamastaan sekvenssinumerosta)
 - 10 vastaamattoman kyselyn jälkeen palvelin lopettaa yhteyden

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 25
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

TCP:n tilakone



Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 26
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Luotettava tiedonsiirto

- Tieto välitetään koneelta toiselle ilman duplikaatteja tai häviöitä
 - Positiiviset kuittaukset
 - Uudelleenlähetys
 - Virheiden havaitseminen (ajastimet ja tarkastussummat)

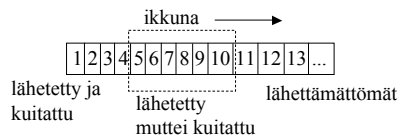
Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 27
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Seuraavaksi: TCP:n sopeuttaminen verkkoon

- Ikkunan koko
- Uudelleenlähetysten ajankohta ja kuittaukset
- Vuon- ja ruuhkanhallinta

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 28
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Liukuva ikkuna



- Tehostaa tiedonsiirtoa
 - Paketti voidaan lähettää ennen kuin edellinen on kuitattu
 - Kuittaamattomille paketeille puskuri

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

29
22.9.2008

TCP:n ikkunamekanismi

- Päästä-päähän vuon kontrollointiin
 - Myös ruuhkan välttämiseen
- Kummassakin päässä kaksi ikkunaa
 - Yksi lähetetyille ja toinen vastaanotetuille
- Ikkunan koko voi muuttua
 - Riippuu vastaanottajan käsittelykapasiteetista

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

30
22.9.2008

Silly Window Syndrome (SWS)

- Eli lähetetään vähän dataa verrattuna otsikkoon
 - Vaatii enemmän prosessointia ja laskentaa
- Sovellukset toimivat eri nopeuksilla
 - Vastaanottajan puskuri tulee täyteen
 - Vastaanottaja lukee yhden oktetin ja ilmoittaa ikkunan kooksi: 1
 - Lähettäjä lähettää yhden oktetin dataa TCP-paketissa
- Silly window voi tapahtua sekä lähettäjän että vastaanottajan puolella

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

31
22.9.2008

SWS:n välttäminen

- Vastaanottajan puolella
 - Mainostetaan vain ”merkittävänkokoista” ikkunaa
 - Viivästetyt kuittaukset
- Lähettäjän puolella
 - Odotetaan kunnes dataa on suurimman sallitun segmentin verran
 - Odotetaan kunnes kuittaukset ovat saapuneet

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot
T-110.4100@tml.hut.fi <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

32
22.9.2008

Kumulatiiviset kuittaukset

- Helppo muodostaa ja yksiselitteisiä
- Hävinnyt kuittaus ei välttämättä aiheuta uudelleenlähetystä
- Yhdessä viestissä kuitataan useampi segmentti
- Lähetetään uudestaan joko kaikki tai vain ensimmäinen kuittaamaton segmentti
 - Kolmas sama kuittaus johtaa uudelleenlähetykseen

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 33
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Kuittausten moniselitteisyys

- Viittaako kuittaus alkuperäiseen vai uudelleenlähetykseen pakettiin?
 - alkuperäinen viesti: pitkät timeout-ajat
 - uudelleenlähetykseen: liian lyhyt timeout
- Karnin algoritmi: uudelleenlähetykseen segmenttien edestakaista kulkuaikaa ei huomioida uudelleenlähetyksen laskemisessa

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 34
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Uudelleenlähetyksen ajastus

- Uudelleenlähetyksen ajastusta muutetaan yhteyden tehokkuuden mukaan perustuen edellisiin viesteihin ja niiden kuittauksiin
 - Uudelleenlähetyksen ajastin (Retransmission timeout RTO)
 - Edestakainen kulkuaika (round trip time RTT)

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 35
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Uudelleenlähetysalgoritmi

- Alkuperäinen algoritmi:
 - $RTT = (\alpha * oldRTT) + ((1 - \alpha) * newRTTsample)$ (suositus $\alpha=0,9$)
 - RTO: $\beta * RTT$, $\beta > 1$ (suositus alunperin: $\beta=2$)
- Ei kovin hyvä, sillä algoritmi ei huomioi sitä, että RTT saattaa muuttua paljon

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 36
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Uusi uudelleenlähetysalgoritmi

- Uusi algoritmi (RFC 2988):
 - Aluksi: $RTO = 3\text{ s}$
 - 1. mitatun RTO :n jälkeen
 - $SRTT \leftarrow R$ (smoothed round trip time)
 - $RTTvar \leftarrow R/2$ (RTT :n varianssi)
 - $RTO \leftarrow SRTT + \max(G, K * RTTvar)$, missä $K=4$ ja G kellon tarkkuus

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

37
22.9.2008

Uusi uudelleenlähetysalgoritmi (2)

- jatkossa
 - $RTTvar \leftarrow (1 - \beta) * RTTvar + \beta * |SRTT - \text{newRTTsample}|$
 - $SRTT \leftarrow (1 - \alpha) * SRTT + \alpha * \text{newRTTsample}$
missä $\alpha = 1/8$ ja $\beta = 1/4$
 - $RTO \leftarrow SRTT + \max(G, K * RTTvar)$
- Jos laskettu $RTO < 1\text{ s}$, arvo tulee pyöristää 1s.
- RTO :n maksimiarvo voidaan asettaa 60 sekuntiin,

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

38
22.9.2008

Vuon- ja ruuhkanhallinta

- Yhteyden alussa verkon tilanne tuntematon
- Verkossa matkan varrella (esim. jossain reitittimessä) on ruuhkaa
 - Eli viive kasvaa
- TCP:n lähetysnopeutta pienennetään lisäruuhkan aiheuttamisen välttämiseksi
 - ICMP source quench –viesti ruuhkatilanteesta
- Lähetysikkunaa kasvatetaan hitaasti

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

39
22.9.2008

Ruuhkaikkuna

- Jos paketteja häviää (saadaan kolme kuittaus edellisestä vastaanotetusta)
 - Pienennetään ruuhkaikkuna puoleen käytössä olleesta
- Jos RTO -ajastin menee nollaan
 - Pienennetään ruuhkaikkuna yhteen
 - aloitetaan alusta

Sanna Suoranta
T-110.4100@tml.hut.fi

T-110.4100 Tietokoneverkot
<https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100>

40
22.9.2008

Globaali synkronoituminen

- Verkossa ruuhkaa, ja tilanne ohi
- Kaikki alkavat lähettää yhtäaikaan
- Reitittimissä Random Early Discard (RED)
 - jono täysi → hylkää tietosähke
 - jono melkein täysi → tietosähke hylätään jollain todennäköisyydellä
 - jono ei ole täysi → kaikki välitetään eteenpäin

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 41
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Yhteenveto

- Transmission Control Protocol (TCP) tarjoaa yhteydellistä ja luotettavaa kuljetuspalvelua
- Verkkoa käytetään tehokkaasti
- Vuokontrolli kertoo kuinka paljon dataa kumpikin päätepiste pystyy käsittelemään

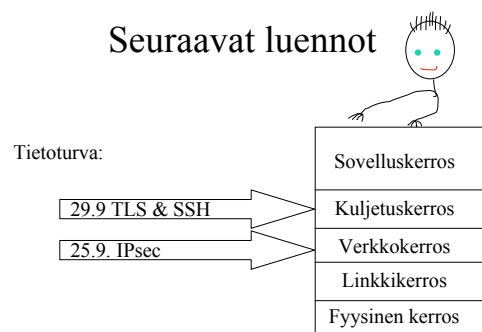
Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 42
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Lähteet

- RFC 4614 – A Roadmap for TCP Specification Documents, 2006
- RFC 793 – Transmission Control Protocol, 1981
- RFC 1122 – Requirements for Internet Hosts – Communication Layers, 1989
- RFC 2581 TCP Congestion Control, 1999
- RFC 2988 Computing TCP's Retransmission Timer, 2000
- RFC 3168 - The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP, 2001

Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 43
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008

Seuraavat luennot



Sanna Suoranta T-110.4100 Tietokoneverkot 44
T-110.4100@tml.hut.fi https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/t-110.4100 22.9.2008