

# Tietoliikenne II (2 ov)

---

Syksy 2002  
Liisa Marttinen

- Kurssikirja: **Kurose & Ross, Computer Networking** (2. edition)
  - \* (kyllä 1. painoskin kelpaa, mutta siitä puuttuu mm. mobiiliverkot kokonaan)
- Lisämateriaalia: Aiheeseen liittyvät RFC:t

17.09.02

1

# Tietoliikenne II

---

Täydennystä Tietoliikenne I -kurssin asioihin

- perusteellisemmin
- laajemmin
- ‘teoreettisemmin’
- ◆ perus-, linkki- ja MAC-kerros
- ◆ reititys, IPv6
- ◆ TCP: suorituskyky ja uudet piirteet
- ◆ DNS, ..

17.09.02

2

# Alustava sisällysluettelo

---

- ◆ 1. TCP:n suorituskyky
  - optiot
  - uudet piirteet ruuhkanvalvonnassa
- ◆ 2. IPv6, IPsec?
- ◆ ICMP
- ◆ Reititys
  - » OSPF, BGP, monilähetysoreititys, mobiilireititys
- ◆ 3. muita verkkoja: atm, FDDI, ...

17.09.02

3

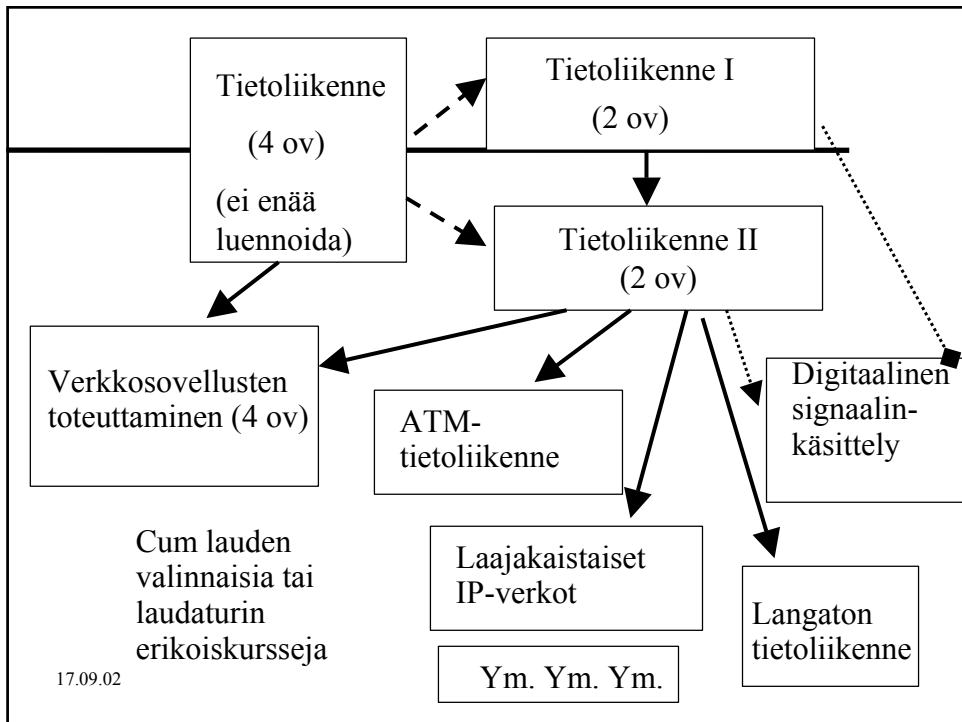
# Sisällysluettelo jatkuu

---

- ◆ 4. Linkkikerroksen ja peruskerroksen asioita
  - » HDLC, PPP, SONET, ..
  - » Tiedonsiirron teoreettinen perusta (Shannon, Nyquist, ..)
- ◆ 5. Internetin palvelun laatu (QoS)
  - » integroidut palvelut
  - » eriytyneet palvelut
- ◆ 6. Turvallisuus (??)
- 7. Verkonhallinta (???)

17.09.02

4



## Suoritus

- ◆ kurssikoe maks. 50 p, min 25 p
  - ma 17.12. klo 9-13 sali 1 päärakennus ???
- ◆ kurssiaktiivisuus maks. 20 p
  - traditionaaliset harjoitukset => maks. 10 p
  - miniesseet (1-10 sivua) ja -esitelmät (10-15 min), keskusteluaktiivisuus yms. => maks. 10 p
- ◆ 30 p => 1-, 51 => 3
- ◆ tai sitten loppukokeella maks. 60 p
  - tammi- tai helmikuussa 2003

# 1. TCP ja suorituskyky

- ◆ TCP:n peruspiirteiden toiminta tarkemmin
  - osin harjoitustehtävissä
- ◆ TCP:n lisäpiirteitä
  - Ikkunaskaalaus (Window scaling)
  - Aikaleimaus (time stamping)
  - SACK (Selective Acknowledgement)
  - RED (Random Early Detection)
  - ECN (Explicit Congestion Notification)

17.09.02

7

## TCP-otsakkeen kentät

Source port								Destination port	
Sequence number									
Acknowledgement number									
TCP head. length		U	A	P	R	S	F	Window size	
		R	C	S	S	S	I		
		G	K	H	T	N	N		
Checksum				Urgent pointer					
Options (0 or more 32 bit words)									
Data (optional)									

17.09.02

8

# TCP-optiot

---

## ◆ Optio-kenttä

- erilaisia valinnaisia piirteitä varten
- Option pituus on 40 tavua
  - » TCP header length -kenttä = 4 bittiä kertoo otsakkeen pituuden 32 bitin sanoina =>  $15 \cdot 4$  tavua = 60 tavua
  - » 60 tavua -20 tavua vakio-otsaketta => enintään 40 tavua optioita varten

Option tyyppi	Option pituus	Option merkitys
1 tavu	1 tavu	pituus - 2 tavua

17.09.02

9

# Optioita:

---

## ◆ MSS (Maximum Segment Size)

- käytetään ilmoittamaan vastaanottajan yhteydellä hyväksymä suurin segmentin koko
  - » eri suuntiin voi olla eri koko
  - » voi olla suurempi tai pienempi kuin oletus MSS
    - ◆ **MTU (Maximum Transfer Unit)** = suurin yhdessä verkon kehyksessä kulkeva datamäärä
      - Eri verkoissa eri kokoja, mutta minimi MTU= 576 B
    - ◆ **MSS = MTU - IP-otsake - TCP-otsake**
      - oletus MSS =  $576 - 20 - 20 = 536$
      - Otsakkeet voivat olla suurempia!

17.09.02

10

---

◆ MSS ilmoitetaan yhteyttä muodostettaessa eli SYN-segmenteissä

– kumpikin osapuoli voi ilmoittaa oman MSS-arvonsa

» jos ei ilmoita, niin suostuu vastaanottamaan minkä tahansa kokoisia segmenttejä.

2	4	maksimi segmentin koko
---	---	------------------------

## Muita ehdotettuja optioita (RFC 1323):

---

◆ ikkunaskaalaus (window scaling factor)

– kasvattaa TCP-otsakkeen 16-bitin ikkunan koon 32-bitin ikkunan kooksi

3	3	skaalaus
---	---	----------

◆ aikaleimaus (timestamp)

– segmentin aikaleima palautetaan kuittauksessa

8	10	segmentin aikaleima	kuitatun segmentin aikaleiman kääntö
---	----	---------------------	--------------------------------------

# Erilaisia suorituskykyongelmia

---

- ◆ TCP-protokolla käytössä hyvin erilaisissa ympäristöissä
  - » pitkän viipeen satelliittiyhteyksillä
  - » erittäin nopeilla yhteyksillä
  - » langattomilla yhteyksillä
- ◆ => suorituskykyongelmia
  - otsakkeen kentät liian pieniä
    - » **ikkunankoko 16 bittiä => 65536 tavua**
      - ◆ rajoittaa lähetysnopeutta mm.satelliittiyhteyksillä
    - » **järjestysnumero 32 bittiä**
      - ◆ rajoittaa lähetysnopeutta erittäin nopeilla yhteyksillä

17.09.02

13

## **Kaistan ja kiertoviiveen tulo** ( bandwidth \* delay product)

---

### TCP:n suorituskyky

- Riippuu siirtonopeudesta (kaista, bandwidth) ja
- kiertoviiveestä (RTD, round-trip delay, 1 ms - 100 s)

Tulo siirtonopeus \* kiertoviive kertoo sen datamäärän, joka TCP:n täytyy pystyä käsittelemään, jotta lähettäjä ja vastaanottaja voisivat toimia täydellä vauhdilla

- paljonko kuittaamatonta dataa verkon täytyy pystyä välittämään

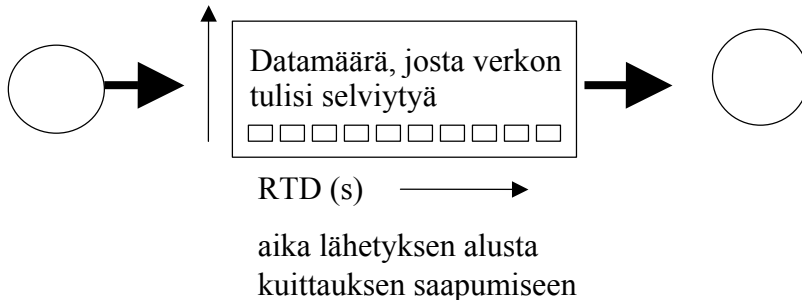
◆ Ongelmia syntyy, jos tulo on hyvin suuri!

17.09.02

14

Ideaalitilanteessa 'lähetysputki' on koko ajan täynnä!

Lähetysnopeus (bps)



Ongelmia aiheuttavat LFN-verkot (long, fat pipe network):  
pitkä viive ja suuri lähetysnopeus, esim. satelliittiyhteydet  
ja nopeat runkolinjat => tulo > 1 Mb ~ 100 segmenttiä

17.09.02 1200 tavua

15

## Ongelmia LFN-verkoissa

- Ikkunan koko -kenttä liian pieni => 'putki' ei täyty (suurin mahdollinen ikkuna  $2^{16} = 65$  KB)
  - ikkunan skaalaus -optio
- pakettien katoaminen => hidas aloitus eli 'putki' joudutaan tyjentämään
  - parannukset ruuhkanhallintakäytäntöön
    - » Fast Retransmit, Fast Recovery (yksi paketti katoaa)
    - » SACK (mitkä saapuneet, mitkä kadonneet)
- Uudelleenlähetyksajastimen tarkempi ajastus
  - » Timestamp -optio

17.09.02

16



## Lisää ongelmia:

---

- Järjestysnumeroiden uudelleenkäyttö
  - Samannumeroinen segmentti voi yhä olla verkossa => se hyväksytään 'uutena'
  - Samannumeroinen ACK-kuittaus voi yhä olla verkossa => lukkiutunut tilanne, josta toivutaan vain RST:llä
    - » Lähettäjä saa kuittauksen ja siirtyy seuraavaan segmenttiin
    - » Vastaanottaja jää odottamaan puuttuvia tavuja ja hylkää muut
    - » Ikkkuna täyttyy ja lähettäjä alkaa lähettää uudelleen, mutta .....

17.09.02

17

## MSL (Maximum Segment Lifetime)

---

- MSL = 2 minuuttia
  - IP-kerroksen elinaikakenttä (time-to-live) rajoittaa
- Järjestysnumerokenttä on 32 bittiä (~ 4.3 10\*\*9)
- Esimerkkejä eri verkkojen numeroiden kiertoaajasta
  - ARPANET 56 kbps 7 KBps ~ 3.6 päivää
  - Ethernet 10 Mbps 1.25 MBps ~ 3 0 min
  - FDDI 100 Mbps 12.5 MBps ~ 3 min
  - **Gigabit 1 Gbps 125 MBps 17 sec**
- **Nopeissa verkoissa aiheuttaa ongelmia!**

17.09.02

18

## Ikkunan skaalaus (Window scale factor)

---

- ◆ ikkunakoko = 16 bittiä => 65536 tavua
    - » kertoo vastaanottajan ikkunan = kuinka monta tavua voi lähettää ennenkuin täytyy jäädä odottamaan kuittausta
    - » Jos RTT (Round-trip-time) on suuri, niin joudutaan odottelemaan
    - » Efektiivinen nopeus  $B = 2^{16}/RTT$
  - ◆ jos käytössä ikkunan skaalaus -optio, ikkunakentän arvo kerrotaan  $2^F$ , jossa F on skaalausoption arvo.
    - » Suurin F:n arvo on 14.
- 17.09.02 ◆ käytetään vain yhteyden aloituspyynnössä

19

## Miksi uudelleenlähetysajastimen arvo on tärkeä!

---

- ◆ Ruuhkan oikea havaitseminen riippuu uudelleenlähetysajastimen 'oikeasta' arvosta.
  - Liian suuri arvo => alkavaa ruuhkaa ei huomata ajoissa => verkkoa ylikuormitetaan => syntyy ruuhkatilanne => resurssien hukkakäyttöä
  - Liian pieni arvo => luullaan ruuhkaksi, vaikka ei olekaan => hidastetaan turhaan lähetystä => resurssien hukkakäyttöä

17.09.02

20

## Uudelleenlähetyksajastimen arvo

---

- ◆ mitataan paketin kiertoviive  $M$  ja viiveen poikkeama odotetusta eli  $|RTT-M|$ 
  - $RTT = aRTT + (1-a)M$
  - $D = bD + (1-b)|RTT-M|$
  - ajastimen arvo =  $RTT + 4D$
- ◆ Ongelmia aiheuttavat uudelleenlähetykset
  - ◆ Mikä sanomista kuitataan?
  - ◆ Karn: uudelleenlähetyksiä ei oteta mukaan, vaan ajastimen arvo kaksinkertaistetaan aina uudelleenlähetyksessä, kunnes saadaan onnistuneesti kuittaus.
- ◆ Useat toteutukset mittaavat vain yhden paketin ikkunasta!
  - ◆ Ongelmia, jos ikkuna suuri.

17.09.02

21

## Aikaleima (timestamp)

---

- ◆ Kaksi eri optiota
  - Timestamp Value
    - ◆ lähteissä segmenteissä,
  - Timestamp Echo Reply
    - ◆ kuittauksessa
    - ◆ sama kuin kuitatun segmentin Timestamp-arvo
- ◆ Voidaan käyttää missä tahansa datasegmentissä
- ◆ => Voidaan laskea kiertoviive jokaiselle segmentille, myös uudelleenlähetyksille.

17.09.02

22

## RTTM (Round-Trip Time Measurement)

---

- ◆ lähetettävään sanomaan liitetään aikaleima-optioon aikaleima
  - ◆ aikaleimakello, joka tikittää riittävän nopeasti
- ◆ sama aikaleima palautetaan sanoman kuittauksessa
- ◆ ongelmatilanteita:
  - viivästyneet kuittaukset: aikaisin kuittaamaton
    - ◆ TCP:n ei tarvitse kuitata jokaista segmenttiä
  - puuttuva segmentti: viimeisin hyväksytyt
  - puuttuvan segmentin saapuminen: viimeisin puuttuva

17.09.02

23

## Viivästetty ACK (Delayed ACK)

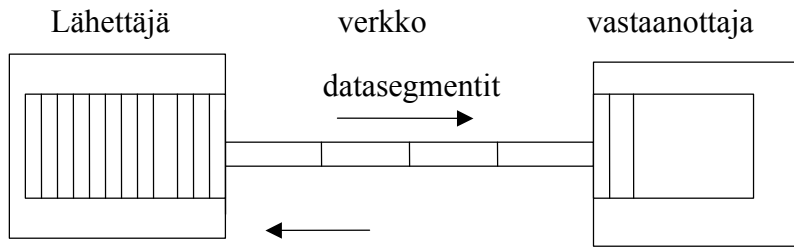
---

- Ei tarvitse välttämättä kuitata jokaista segmenttiä
  - kuitenkin kuitattava ainakin joka toinen ja viive saa olla korkeintaan 500 ms,
    - ◆ usein noin 200ms
- Hyöty: kuittaus kulkee datan mukana
  - samalla kertaa ikkunan muutos, kuittaus ja kaiutus
- Haitta: kiertoviiveen laskeminen, pakettien kellotus

17.09.02

24

# TCP-ruuhkanvalvonta



ACK

toimii lähetyksen tahdistajana

putkesta poistunut dataa, joten voidaan lähettää sama määrä lisää

# TCP self-clocking

- ◆ TCP tahdistaa itse oman lähetyksensä ACK:ien avulla
  - nopeutta voi rajoittaa
    - » verkko
      - ◆ ruuhkan takia syytä vielä pienentää lähetyksenopeutta
    - » vastaanottaja
      - ◆ lähetyksenopeus ok
  - lähettäjä ei voi tietää kumpi

# Ruuhkanvalvonta on hankalaa!

---

- ◆ Sitä varten on koko ajan kehitetty yhä parempia menetelmiä
  - uudelleenlähetysajastimen arvo
    - » RTT:n varianssin arviointi
    - » Karnin algoritmi
    - » exponential retransmission timer backoff
  - lähetysikkunan hallinta
    - » slow start
    - » congestion avoidance
    - » fast retransmit
    - » fast recovery

17.09.02

27

# Lähetettynä voi olla vain rajallinen määrä kuitaamattomaa dataa ('Flight size')

---

- ◆ vastaanottoikkuna (receiver window, **rwnd**)
  - vastaanottaja ilmoittaa lähettämiensä segmenttien ikkunakentässä
  - vastaanottaja voi vapaasti kasvattaa tai pienentää
  - vuonvalvontaa varten
- ◆ ruuhkaikkuna (congestion window, **cwnd**)
  - lähettäjä saa korkeintaan lähettää verkkoon, jotta verkko ei tukkeutuisi
  - ruuhkanhallintaa varten
- ◆ **min(rwnd, cwnd)** rajoittaa lähettämistä

17.09.02

28

## Ruuhkaikkunan arvo eri tilanteissa

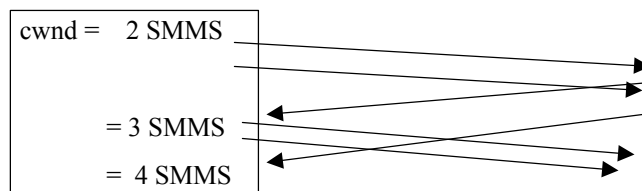
- initial window (IW)
  - » ruuhkaikkunan arvo heti kolminkertaisen kättelyn jälkeen
    - ◆ korkeintaan kaksi segmenttiä tai 2\* suurin määrä tavuja, jonka lähettäjä voi kerralla lähettää (SMSS)
- loss window (LW)
  - » ikkunan arvo, kun TCP on havainnut , uudelleenlähetyksajastimen lauettua, segmentin kadonneeksi
- restart window (RW)
  - » kun lähetyks käynnistetään uudelleen joutilaana olon jälkeen

17.09.02

29

## Slow start

- ◆ Hitaan aloituksen aikana
  - Ruuhkaikkunaa cwnd kasvatetaan korkeintaan maksimilähetyksmäärällä (SMSS) jokaista uutta dataa kuittaavaa ACKia kohden



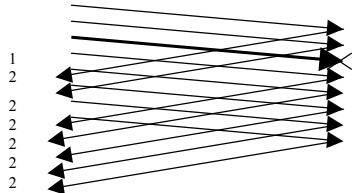
17.09.02

30

# Hidas aloitus

---

- ◆ Aina yhteyden alussa
- ◆ kun kuittausta ei tule ajoissa (paketti kadonnut!)



Ajastin laukeaa noin 400 ms kuluttua, jonka jälkeen aloitetaan hidas aloitus!

# “Duplicate Ack”

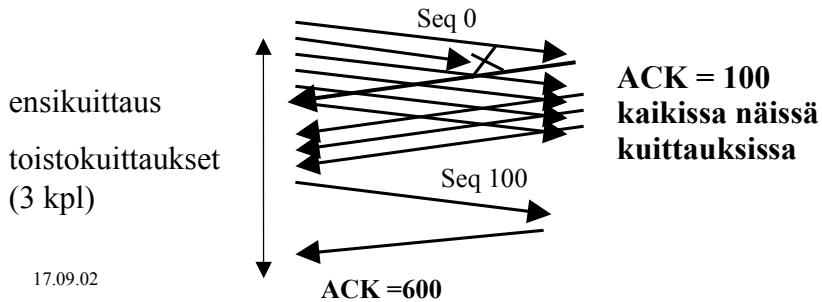
---

- ◆ ensikuittaus (first-time ACK)
  - segmentin ensimmäinen kuittaus
  - tähän saakka kaikki on kunnossa
- ◆ toistokuittaus (duplicate ACK)
  - vastaanottaja kuittaa viimeksi saatua hyväksytyä segmenttiä aina kun saa virheellisen tai väärässä järjestyksessä tulevan segmentin
  - NAKin korvike, jolla ilmoitetaan ongelmista lähettäjälle



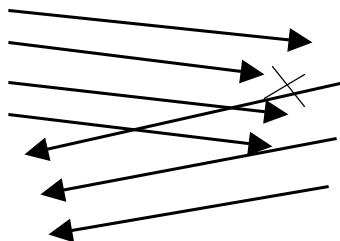
## Nopea uudelleenlähetys (Fast retransmit)

- ◆ Kun lähettäjä vastaanottaa 3 toistokuittausta samalle segmentille, se lähettää heti puuttuvan segmentin uudestaan
  - eikä odota segmentin ajastimen laukeamista



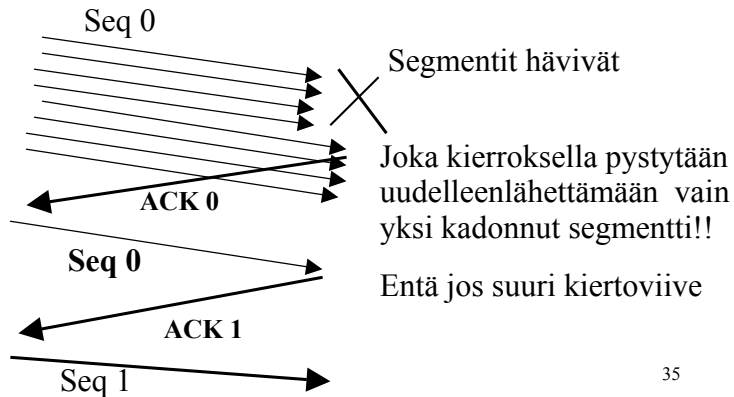
## Ongelma 1: Ei saada kolmea toistokuittausta

- ◆ Jos ruuhkaikkuna on hyvin pieni,
  - ei voi tulla kolmea toistokuittausta, jos ruuhkaikkuna sallii vain kolme kuittaamatonta lähetystä



## Ongelma 2: Virheryöppy tuhoaa monta segmenttiä

- ◆ Kun useita segmenttejä katoaa ‘samasta ikkunasta’



17.09.02

35

## Limited Transmit

- ◆ RFC 3042: **Enhancing TCP's Loss Recovery Using Limited Transmit.**

M. Allman, H. Balakrishnan, S. Floyd. January 2001  
(Status: PROPOSED STANDARD)

- ◆ Lähettäjä ei saa kolmea toistokuittausta =>
  - odotettava aina ajastimen laukeamista ja
  - suoritettava hidas aloitus
  - => hidastaa usein turhaan lähettämistä

17.09.02

36

## Ratkaisu:

- ◆ Lähettäjä saa lähettää yhden **uuden paketin** verkkoon vastaanotettuaan **1. ja 2. toistokuittauksen.**

» kuittaus kertoo, että verkosta poistettu paketti, joten verkkoon siis mahtuu!

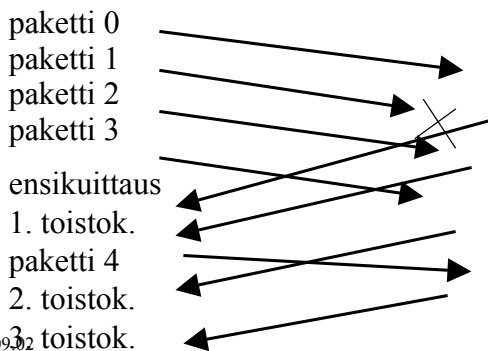
» Tilapäisesti ruuhkaikkunan koko ylitetään kahdella MSS:llä

- ◆ Kun saman paketin toistokuittauksia tulee kolme, niin suoritetaan nopea uudelleenlähetys ja nopea toipuminen (fast recovery)

17.09.02

37

- ◆ Vaikka ruuhkaikkuna on pieni, niin rajoitetulla lähetyksellä saadaan tarvittaessa syntymään kolme toistokuittausta



17.09.02

38

# Miksi lähetetään uusi paketti?

---

- ◆ Miksi ei heti ensimmäisen toistokuittauksen jälkeen lähetä uudestaan sitä jo lähetettyä kuittaamatonta pakettia?
  
- ◆ Koska ei vielä olla varmoja siitä, että paketti on todella kadonnut.
  - Se voi olla vain viivästynyt
  - tai paketit ovat matkalla joutuneet väärään järjestykseen
  
- ◆ => näin vältetään turhia uudelleenlähetystyksiä