



Luento 1: Tietokoneverkot ja Internet

Ma 28.10.2013

Tiina Niklander

Kurose&Ross
Ch1

Tavallinen käyttäjä

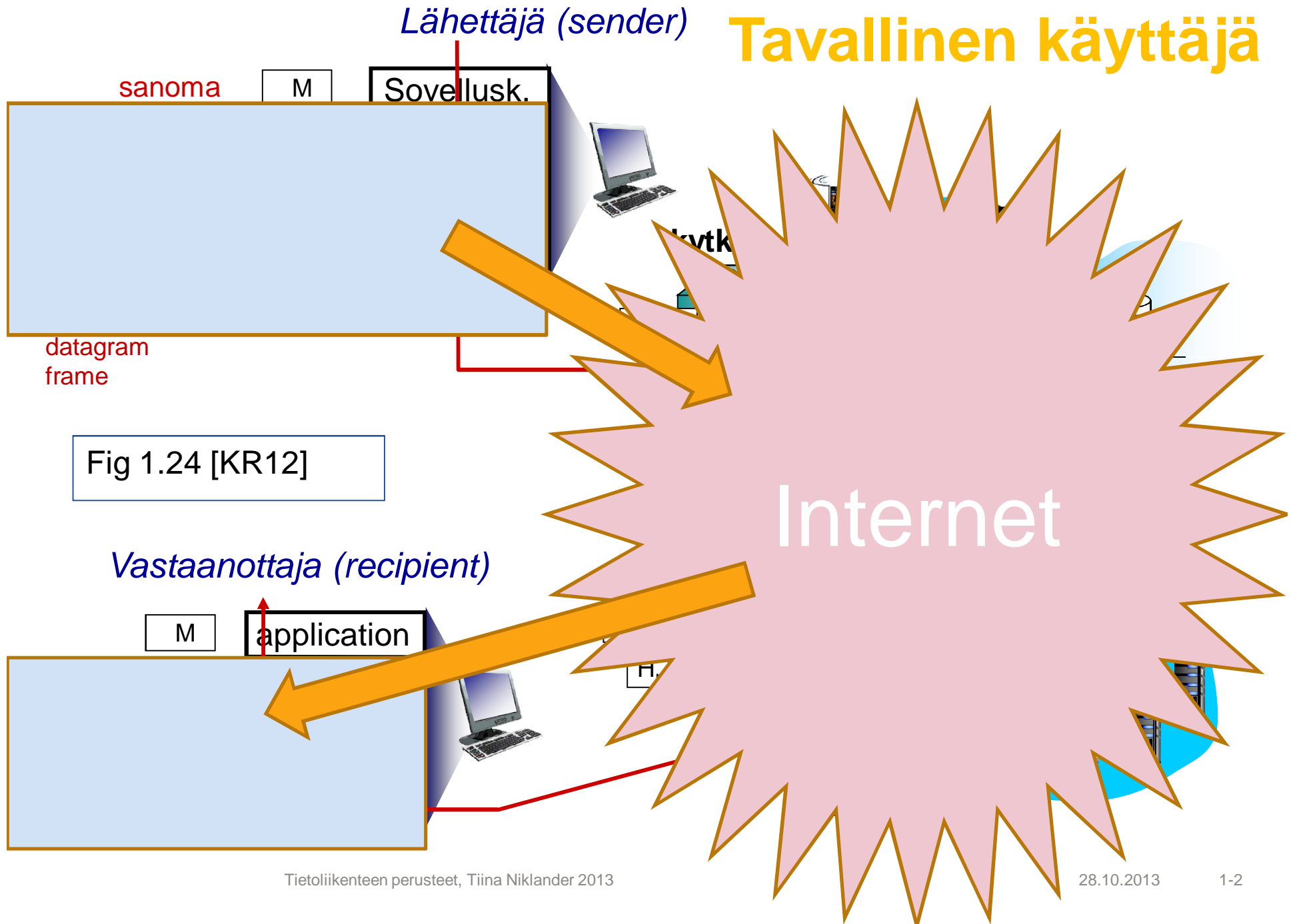
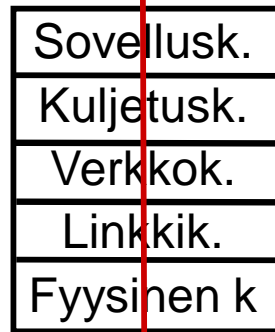
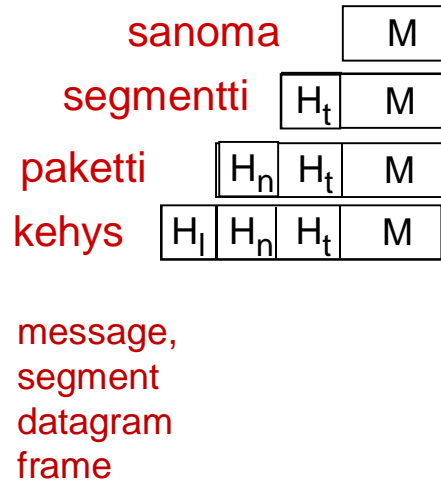


Fig 1.24 [KR12]

ICT-ammattilainen

Lähettäjä (sender)



kytkin

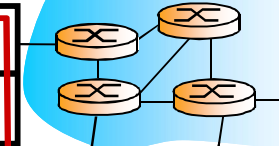
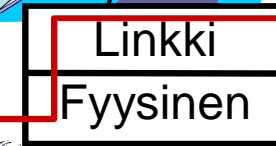
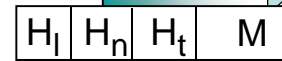
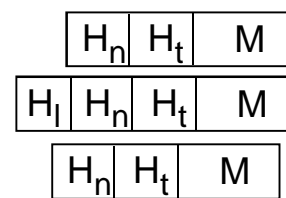
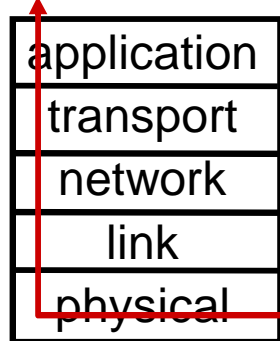
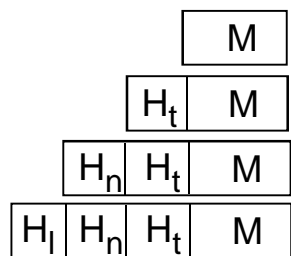


Fig 1.24 [KR12]

Vastaanottaja (recipient)



reititin



Tietoliikenteessä runsaasti lyhenteitä - Älä eksy termiviidakkoon

LAN MAN ATM ISDN WAN SAP ISO TCP UDP ACK
ITU-T PPP ARP CRC RFC FDDI P2P DoD SMTP
TDM RSA IEEE URL IPv6 PSTN QAM MIME FTP
IPS VC FDM X.25 FUNET IMAP POTS DSL WDM
CDN NIC OAM GSM PCN DNS HDLC DoS SLIP
MAC ALOHA CSMA LLC FEC DES HEC IETF
ADSL HFC IANA NAP HTML NAK API GBN MTU
HTTP CSMA/CD ITU POP3 WAP UTP POP ARPA
RTT TLD ARQ SR MSS SYN TTL ICANN HDCP LS

...



Eksymisen välttäminen: Tee töitä!



- Muodosta asiasta mielekäs kokonaisuus
 - Pysyttele hereillä luennoilla ja kirjaa lukiessasi!
 - Yritä koko ajan ymmärtää ja jäsentää
- Tee omia muistiinpanoja
 - Kirjaa omat ajatukset ja kysymykset saman tien paperille
- Kysymykset eivät koskaan ole tyhmiä
 - Kysy luennoilla luennoijalta ja harjoituksissa ohjaajalta (vaikka luennon väliajalla tai harjoitusten loppuksi)
 - Kysy kavereilta
- Kerää kaveriporukka => ”opintopiiri”
 - Pohtikaa yhdessä harjoitustehtäviä
 - Selvittäkää kurssin ongelmakohtia





Kurssin oppimistavoitteita (1/2)

- **Hankkia** kaikille tietokoneen käyttäjille hyödyllistä **yleissivistystä** tietoliikenteestä
 - perustiedot, joita täydennetään muilla kursseilla
- **Ymmärtää** tietoliikenteen toiminnan keskeiset **periaatteet ja käsitteet**
 - voi jatkossa seurata alan perusjulkaisuja (mitä ongelmia, mitä ratkaisuja) esim. kandidaatin tutkielmaa tehdessä
- **Käyttäjän näkökulma**
 - mitä verkon käyttäjän on hyvä tietää, verkkosovellusten perusideat, turvallisuusuhat ja -lääkkeet



Kurssin oppimistavoitteita (2/2)

- Internetin rakenteelliset, tekniset ja toiminnalliset periaatteet
 - Millaisista komponenteista Internet koostuu? Mikä on niiden tehtävä?
 - Miten lähetetty data saadaan siirrettyä lähettäjältä vastaanottajalle?
- TCP/IP-protokollapinon periaatteet
 - yhteiset käyttäytymissäännöt kerros kerrokselta ja kokonaisuutena
- Verkon toimintaperiaatteita ja lainalaisuuksia, yleiskeinoja ja patenttiratkaisuja



Oppimistavoitematriisin pääteemat

- Tietokoneverkon rakenne ja TCP/IP-arkkitehtuuri
- Verkkosovellukset, sovellusprotokollat
- **Kuljetuskerros**, luotettava tiedonsiirto prosessien välillä epäluotettavan verkon yli käyttäen **TCP- ja UDP-**protokollia
- **Verkkokerros**, pakettien siirto verkossa lähdekoneelta kohdekoneelle, IP-osoitteet, **IP-**protokollat, reitittimen toiminta, reititysprotokollat
- Linkkikerros, ethernet-lähiverkko, datan siirto siirtolinkin yli koneelta toiselle
- Tietoliikenteen turvallisuus



Asema ja esitiedot

- Aineopintojen 2. vuoden pakollinen kurssi.
- Esitieto-oletus
 - Algoritmien lukutaito
 - Bittitason esityksen tunteminen
 - Järjestelmän hierarkkinen rakenne
 - Kuinka sovellus saa käyttöjärjestelmältä palvelua?
= palvelupyyntö
 - Kuinka laitteisto saa käyttöjärjestelmältä palvelua?
= keskeytysmekanismi

TiTo



Kurssimateriaali

Kurssikirja

- ❖ Kurose J.F., Ross K.W., Computer Networking. A Top-Down Approach. (6th ed.) Addison –Wesley, 2012.

Kirjan omat www-sivut: http://www.awl.com/kurose_ross/

(3-5 editiot käyvät, mutta lukunumeroinnissa eroja)

Kurssin www-sivut

- Luentokalvot - ennen luentoja
- Harjoitustehtävät - edellisellä viikolla
- Tiedotteita -tarvittaessa



Lisää (kurssi)materiaalia ...

Muita oppikirjoja (näitä on paljon)

sisältävät vähän eri painotuksella samat perusasiat

Tanenbaum A.S: Computer Networks, Pearson Education, 2010 (5th ed.).

Stallings W.: Data and Computer Communications, Pearson Education, 2011 (9th ed.).

Halsall, F.: Computer Networking and the Internet, Addison-Wesley, 2005 (5th ed.).

Forouzan B.A.: Data Communications and Networking, McGraw-Hill, 2007 (4th ed.).

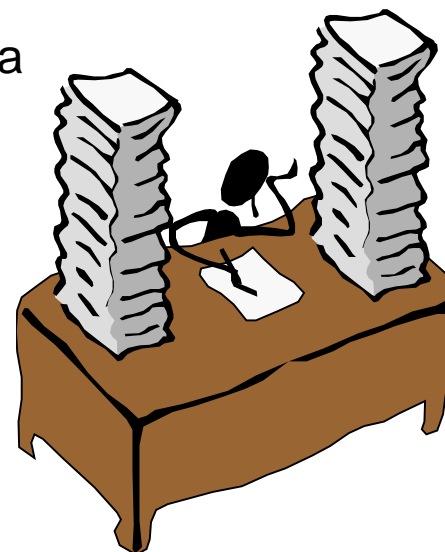
Verkosta löytyy hyvin paljon tietoliikennettä käsittelevää asiaa ..



Kurssin karkea sisältö

viikko per teema

- 1. Tietokoneverkot ja Internet**
Internetin rakenne, terminologiaa
- 2. Verkkosovelluksia ja sovellusprotokollia**
Web, sähköposti, nimipalvelu, tiedostopalvelu, pistokerajapinta
- 3. Kuljetuskerros: TCP, UDP**
yhteydellinen / yhteydetön, ruuhkanhallinta
- 4. Verkkokerros: IP**
reitittimet ja reititys
- 5. Linkkikerros, lähiverkot**
Ethernet, kytkimet
- 6. Tietoturvasta**
Uhkat, palomuuuri





Tämän kurssin jälkeen:

Aineopintojen harjoitustyö: Tietoliikenne (4 op)

Tietoturvan perusteet (4 op)

Verkkosovellusten toteuttaminen (7 op)

Web-sovellusohjelmointi (4 op)

Internet-protokollat (4 op)

Hajautetut järjestelmät (4 op)

Erikoiskursseja (vaihtelee, yleensä 1-2 per lukukausi)

Overlay and Peer-to-Peer Networks (kevät 2013)

Mobile Middleware (kevät 2013)

Seminaareja: osa aina tietoliikenneteemaisia



Aikataulu syksy 2013



Luennot 29.10.-4.12. (6 viikkoa, 12 luentoa)

MA, TO 12-14 CK112, Tiina Niklander
(1. luento ma 29.10. salissa B123)

Harjoitukset 31.10.- 7.12. (max 10 p)

Irina Mäkipaja KE 14-16 B222

Irina Mäkipaja TO 8-10 B222

Tiina Niklander TO 16-18 B222

Kurssikoe ti 10.12. klo 16.00-19 A111

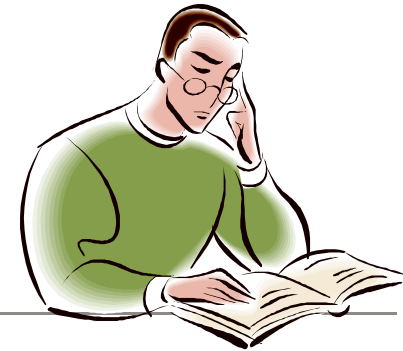
(max 50 p + harjoituspisteet)

Uusintakoe pe 31.1.2014 klo 16.00-20 A111 (U)

(max 60 p tai max 50 + harjoituspisteet)



Hyödynnä harjoitukset!



- Tee tehtävät etukäteen
 - Yksin tai porukalla;
 - Mieti ja yritä ratkaista tehtäviä parina eri päivänä.
 - Vaikeat tehtävät jäävät 'hautumaan' ja aivot tekevät taustatyötä.
- Kysele ongelmakohtista
 - Kun ratkaisuja esitetään
 - Tilaisuuden jälkeen ohjaajalta tai jopa seuraavalla harjoituskerralla
- Yritä ratkaista epäselväksi jääneet tehtävät itsenäisesti harjoitusten jälkeen
 - Jos ei onnistu, kysele lisää



Sisältöä

Internet

Verkon reunalla:

asiakkaat ja palvelimet,
yhteydetön ja yhteydellinen palvelu

Pääsy Internetiin, fyysinen media

Verkon sisällä

Piirikytkentäinen, pakettikytkentäinen verkko

Datasähkeverkko, virtuaalipiiriverkko

Viivytykset ja katoamiset siirrossa

Mitä viipeitä? Miksi dataa katoaa

Protokolla ja protokollapino

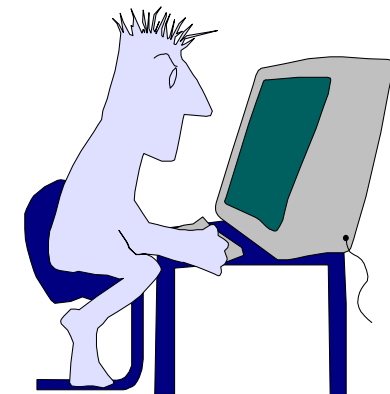
Kerrosarkkitehtuuri

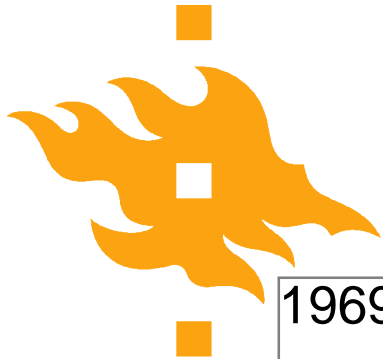
Internet-protokollapino: kerrokset ja sanomat

Internetin rakenne

Oppimistavoitteet:

- Perusterminologia tutuksi
- Yleiskuva Internetistä
 - rakenne
 - toiminnallisuus
- Internetin protokollapino ja sen eri kerrosten tehtävät





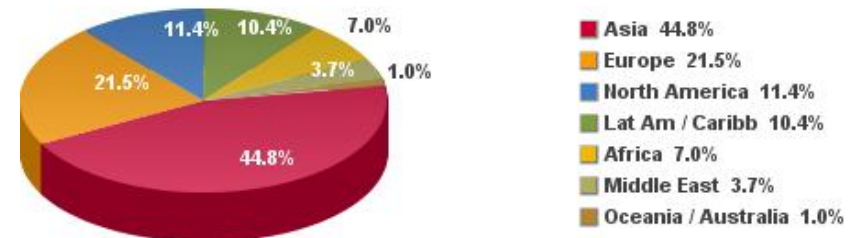
Internet:



1969: 4 konetta (ARPAnet)
1972: 30 konetta, sähköposti
1979: 200 konetta
1985: 2000 konetta (1983: TCP/IP)
1989: 160 000 konetta (1989-91: Web)
1995: 6 miljoonaa konetta
1998: 37 miljoonaa konetta
2002: 162 miljoonaa konetta
2006: 450 miljoonaa konetta
2008: 1464 miljoonaa käyttäjää
2012: 2405 miljoonaa käyttäjää

**34% maailman väestöstä
(6/2012)**

Internet Users in the World
Distribution by World Regions - 2012 Q2



Source: Internet World Stats - www.internetworldstats.com/stats.htm
Basis: 2,405,518,376 Internet users on June 30, 2012
Copyright © 2012, Miniwatts Marketing Group

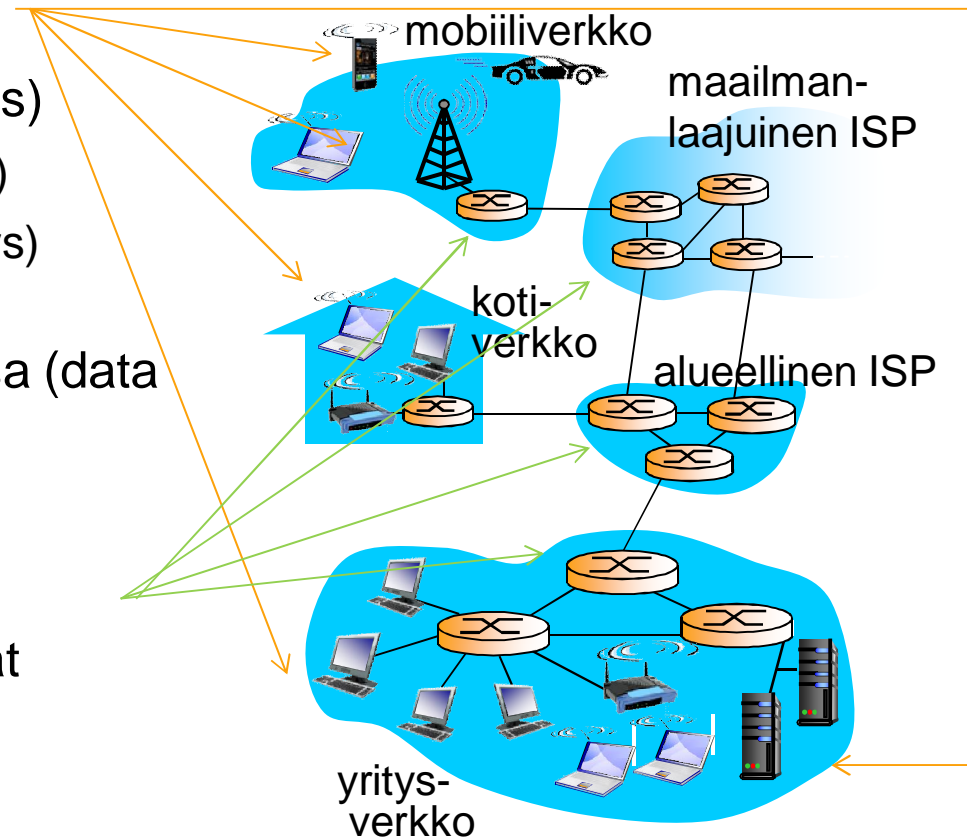
<http://www.internetworldstats.com/stats.htm>



Tietoliikenneverkon osat

Fig 1.1 [KR12]

- Verkon reunoilla
 - Isäntäkoneet (hosts)
 - Asiakkaat (clients)
 - Palvelimet (servers)
 - Palvelimet usein palvelinkeskuksissa (data center)
- Pääsy Internetiin
- Verkon syövereissä
 - Verkkoja yhdistävät reitittimet
 - Verkkojen verkko





Internetin rakenneosat

Osittainen kuva: <http://www.cheswick.com/ches/map/gallery/isp-ss.gif>

Fig 1.1 [KR12]



Miljoonia isäntäkoneita (*hosts, end systems*)

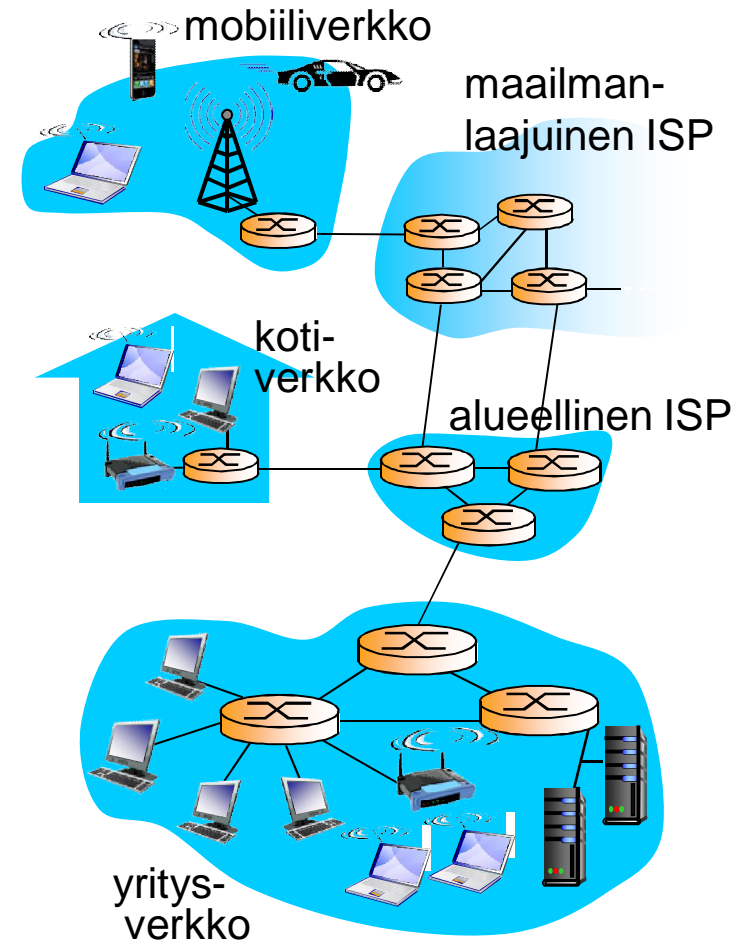
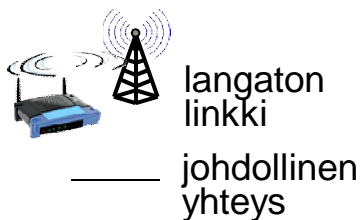
- suorittavat hajautettuja sovelluksia (*network apps*)

Tietoliikennelinkkejä (*communication links*)

- optinen kuitu, kuparijohto, elektromagneettiset aallot (radio, infrapuna, satelliitti)
- Siirtonopeus (*transmission rate*): bittinä sekunnissa (bps)
- Kaistanleveys (*bandwidth*)

Pakettikytkentäinen (*Packet switches*):

- Siirtää paketteja (bittijono)
- Reitittimiä (*routers*) ja kytkimiä (*switches*)





Internet rakenteesta vielä

- Internet = verkkojen verkko (löyhä kytkentä)
 - Internet-palveluntarjoajien (**Internet service provider**, ISP) verkot yhdistetty toisiinsa reitittimillä
- Julkinen Internet vs. rajattu intranet ja extranet
- Päästä-päähän suunnittelumalli
 - tila ja toiminnot reunoilla
- Protokollat - säännöt kommunikointitavoille
- Standardeja
 - RFC – request for comments
 - Dokumentteja erilaisille kommunikointitavoille
 - IETF – Internet Engineering Task Force
 - Organisaatio, joka valvoo RFC:den laatimista



Protokolla? = käyttäytymissäännöt

Ihmisten välinen protokolla

Tietokoneiden välinen protokolla

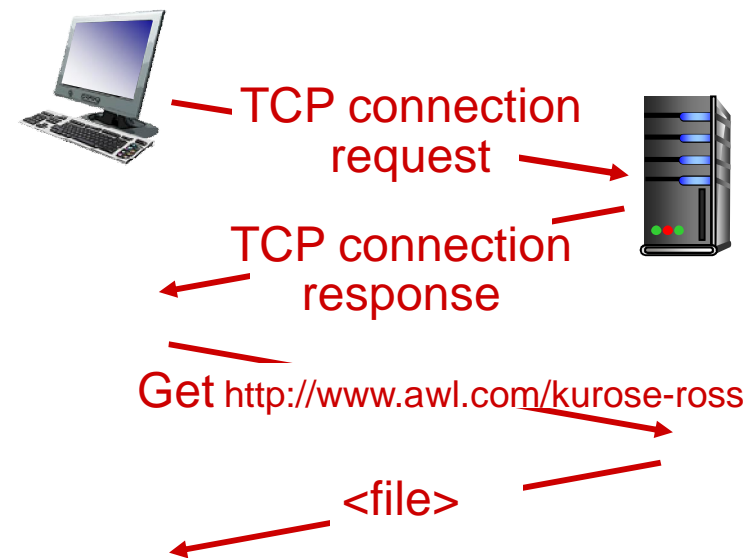
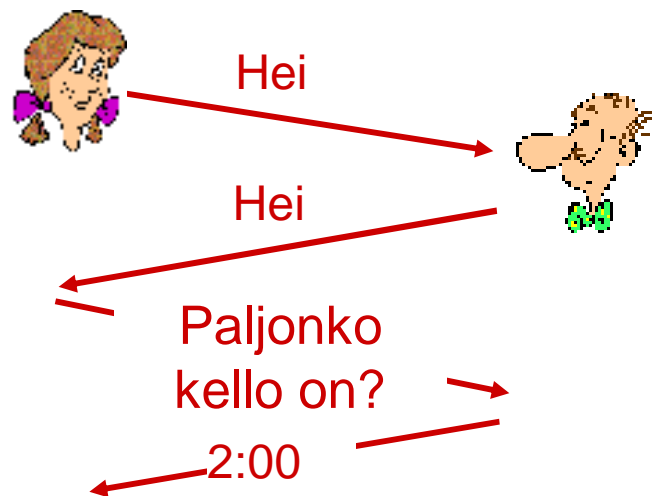


Fig 1.2 [KR12]



Sanomien välitys

- Sovellukset voivat lähettää sanomia toisilleen
 - yhteydellinen (**connection-oriented**) palvelu tai yhteydetön (**connectionless**) palvelu
 - Yhteydellinen: Yhteyden muodostus – yhteyden käyttö – yhteyden purku (~puhelu)
 - Yhteydetön: yhteyden käyttö (~posti)
 - luotettava (**reliable**) (= pyrkii estämään, havaitsemaan ja paikkaamaan virheet) / epäluotettava (**unreliable**) (= 'hälläväliä')
- Internetissä:
 - TCP-protokolla => yhteydellinen ja luotettava
 - UDP-protokolla => yhteydetön ja epäluotettava

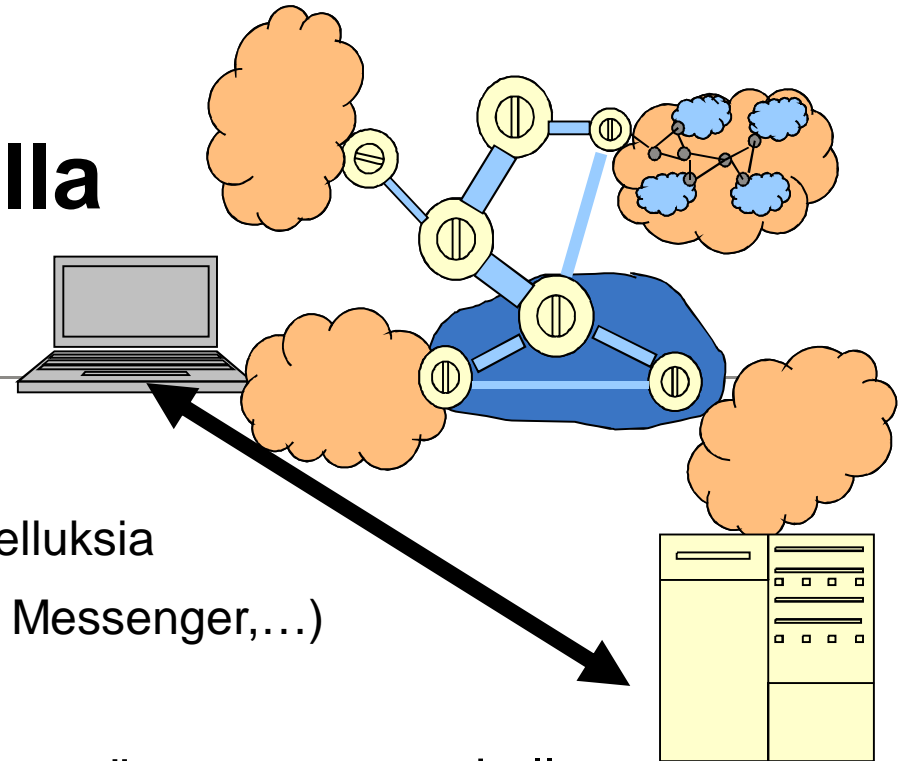


Tietoliikenteen perusteet

Verkon reunoilla,
päästä päähän
(network edge)



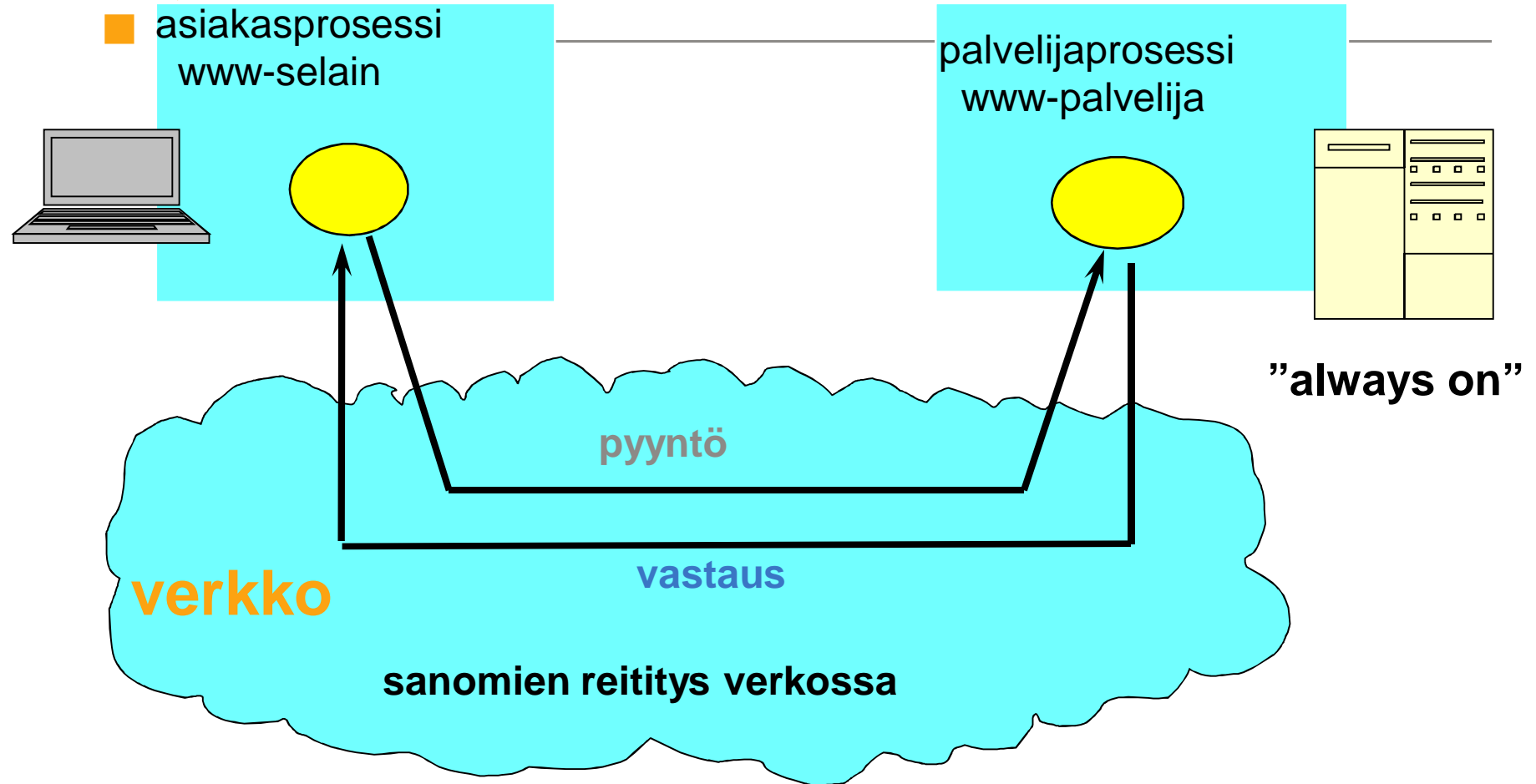
Verkon reunoilla



- Isäntäkoneet (hosts)
 - suorittavat hajautettuja sovelluksia (sähköposti, verkkosamoilu, Messenger,...)
 - ovat verkon reunalla
- Asiakas/palvelija-malli - pyyntö-vastaus-protokolla
 - www-selain / www-palvelin, postisovellus / postipalvelija,
- Vertaistoimijamalli (peer-to-peer, P2P)
 - isäntäkone sekä asiakkaana että palvelijana
 - Napster, Gnutella, KaZaA (FastTrack), EDonkey, eMule, BitTorrent, Mute, ...
 - Internet-puhelin: Skype



Asiakas-palvelija-malli



Oikea kone, oikea prosessi



Palvelu vs. protokolla

Palvelu: joukko toimintoja, jotka ovat käytettävissä

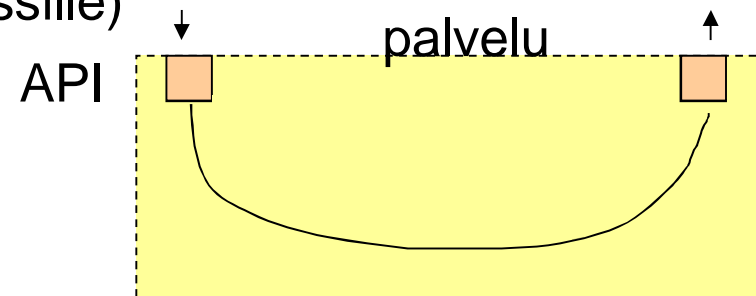
Internetin kuljetuspalvelu, API = miten ohjelma pääsee käyttämään Internetin infrastruktuurin palveluja

~ postin kuljetuspalvelu: kirje postilaatikkoon

Protokolla: säännöt, jotka määräävät, miten sanomia vaihdetaan palvelun toteuttamiseksi

Sanomien muoto, sanomien järjestys, ..

Päästä-päähän-protokolla (end-to-end) (sovelluksen prosessilta toisen sovelluksen prosessille)





Tietoliikenteen perusteet

Verkon syövereissä, reititys (network core)



Verkon syövereissä: verkon ydin (core)

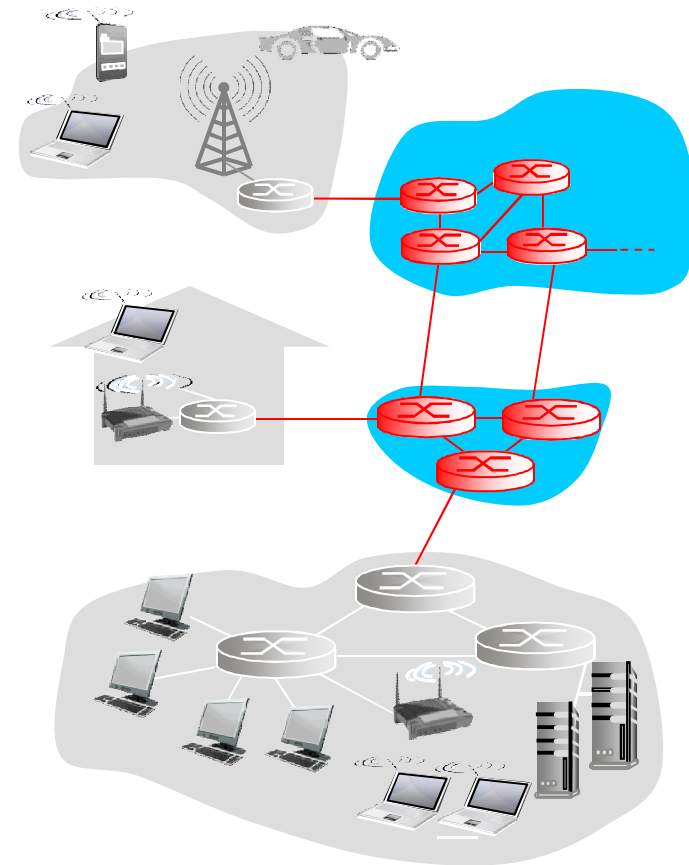
Fig 1.10 [KR12]

Toisiinsa liitettyjen reitittimien verkko (mesh)

isäntäkoneet pilkkovat
sovelluskerroksen sanomat
paketeiksi (*packets*)

Reitittimet siirtävät kunkin
paketin seuraavalle linkki
(hop) kerrallaan, näin
muodostuu polku lähettäjältä
vastaanottajalle

Koko linkin kapasiteetti
siirrettävälle paketille



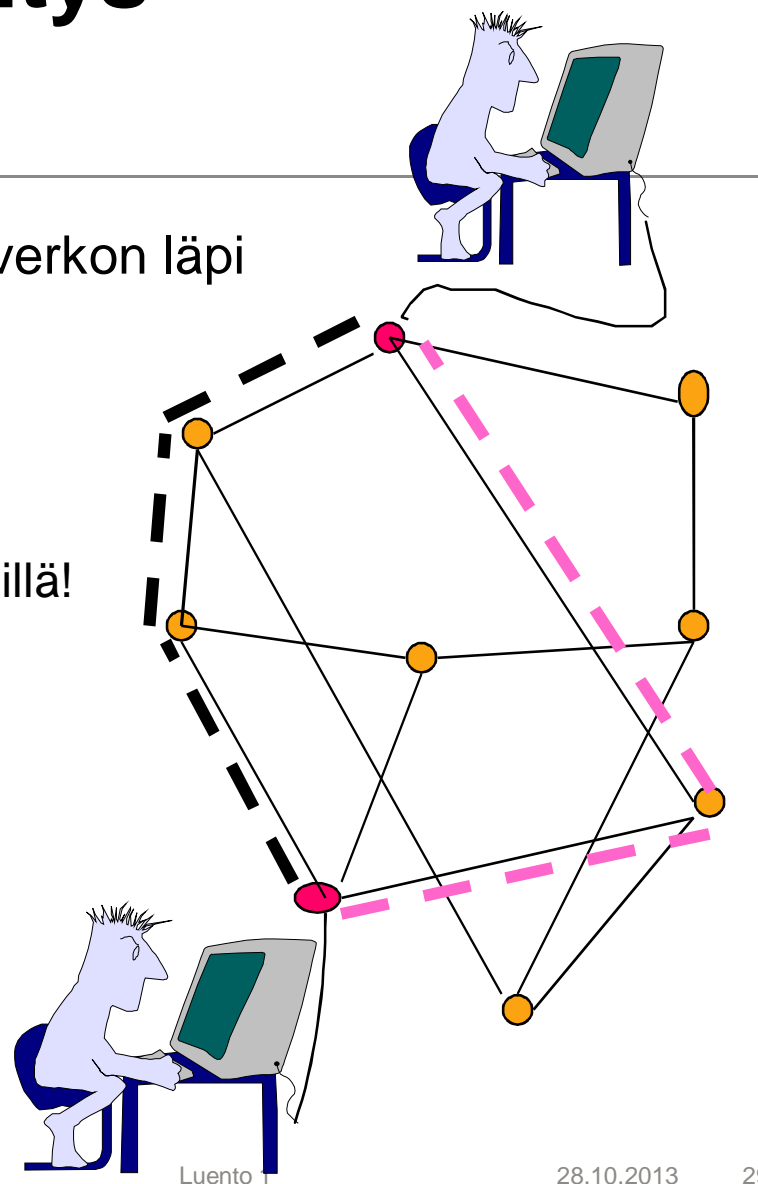


Reitittimet, reititys

- Miten sanoma kuljetetaan verkon läpi
 - lähettävältä koneelta vastaanottavalle koneelle?
- Verkkojen verkko,
 - verkot on yhdistetty reitittimillä!

Piirikytkentä: varaa ensin linkit, joita pitkin kaikki data kulkee

Pakettikytkentä: kuljeta data verkossa pieninä paketteina ja reititä kukin paketti itsenäisesti



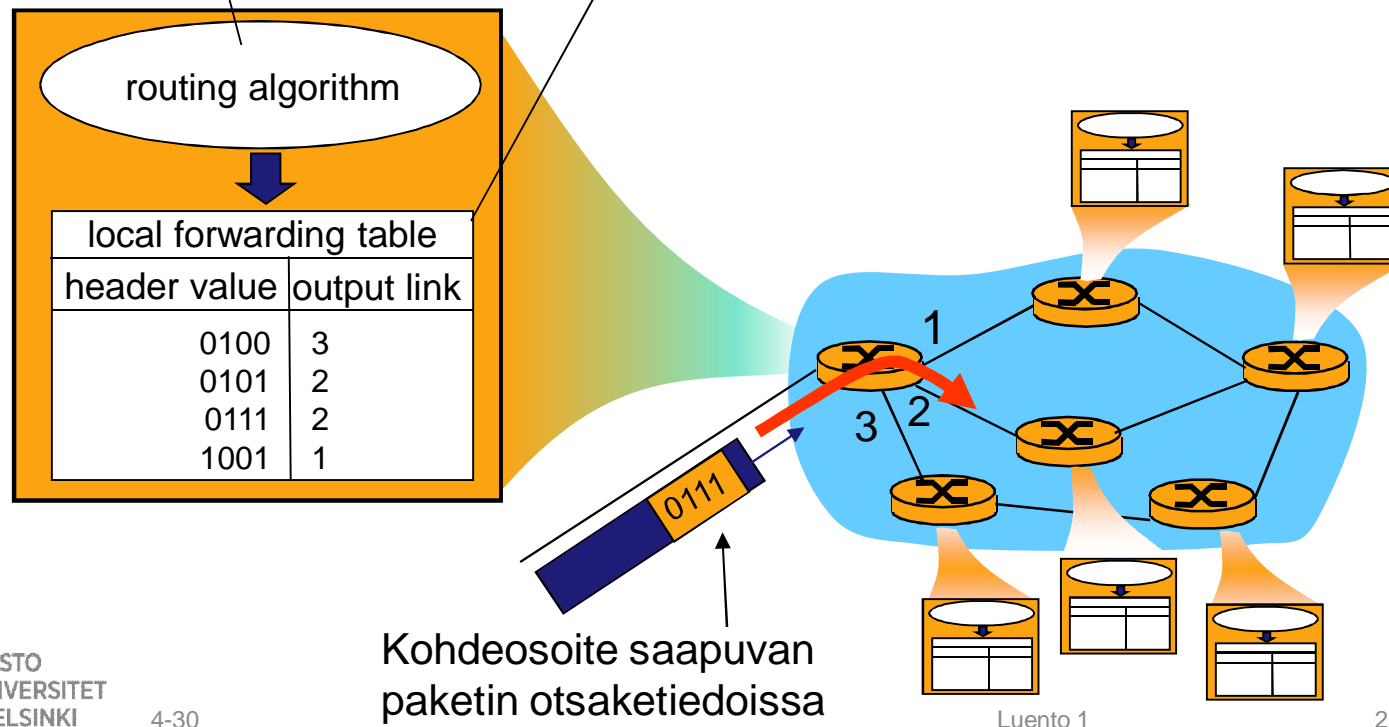


Reititys

Fig 4.2 [KR12]

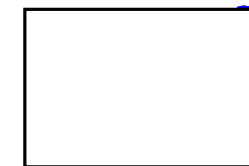
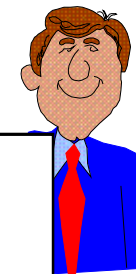
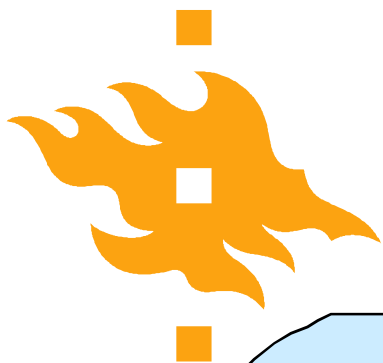
Reititys (routing): Reititysalgoritmit laskevat parhaat reitit ja päivittävät taulukkoa

Edelleenlähetys (forwarding): Reitittimessä taulukko => mihin linkkiin kukin kohdeosoite on ohjattava

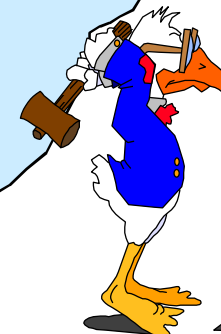
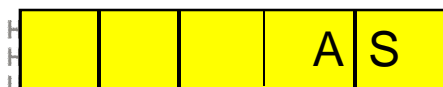
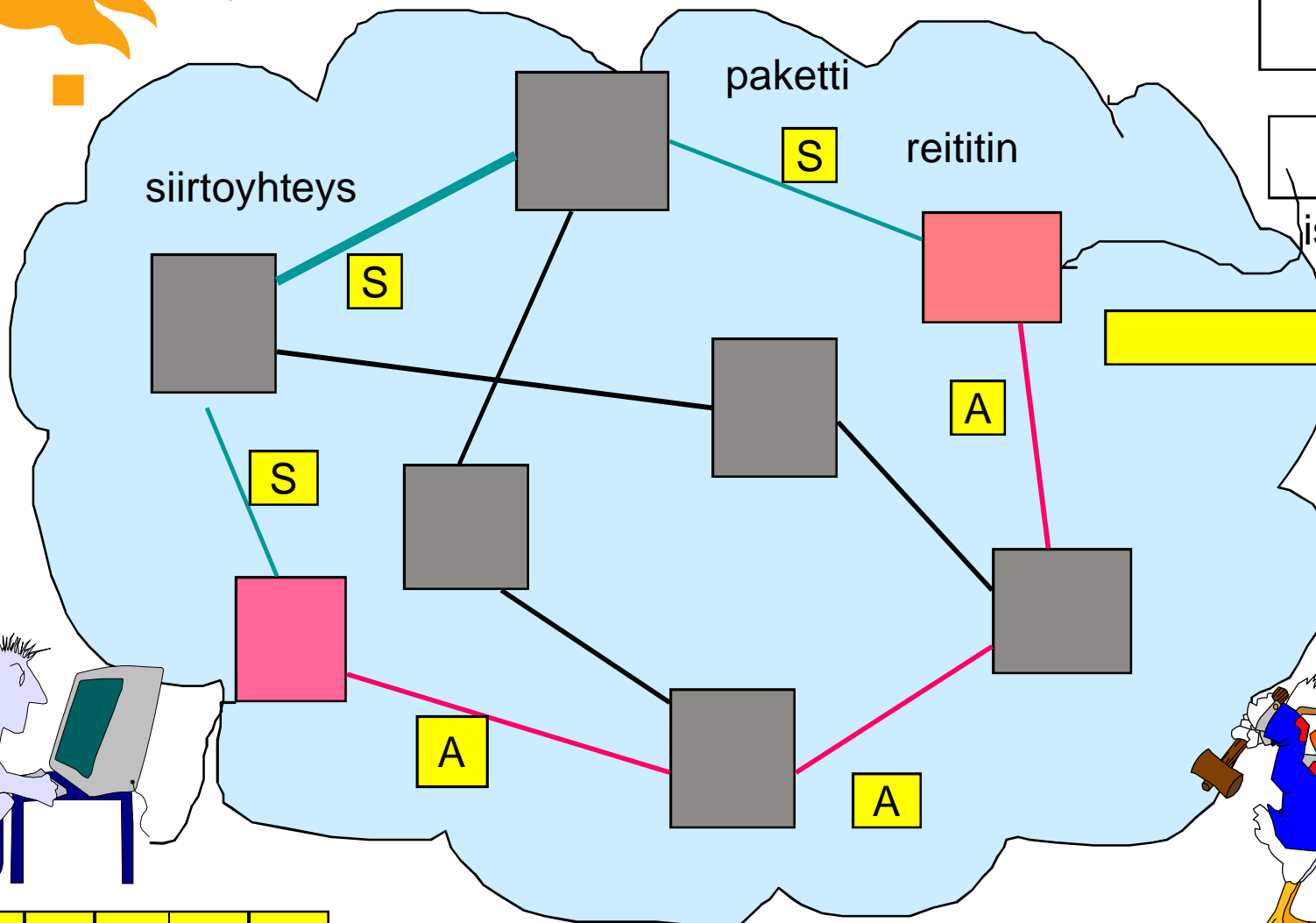


Pakettikytkentä: animointi

- jokainen paketti reititetään erikseen



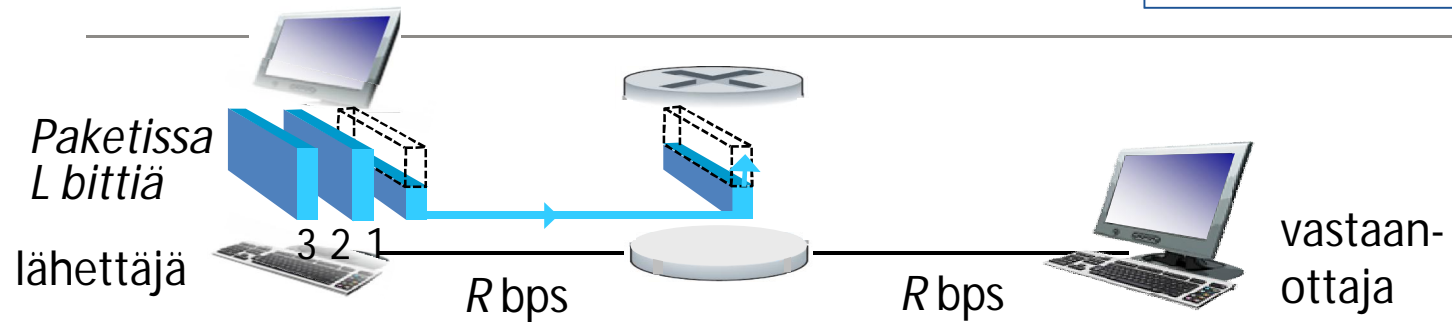
isäntäkone





Pakettikytkentä: etappivälitys

Fig 1.11 [KR12]



Etappivälitys (store and forward)

paketti vastaanotetaan kokonaan ja vasta sitten lähetetään eteenpäin

Paketin (koko L bittiä) lähettämiseen linkin (nopeus R bps) yli kuluu L/R sekuntia

Esimerkki yhden linkin yli:

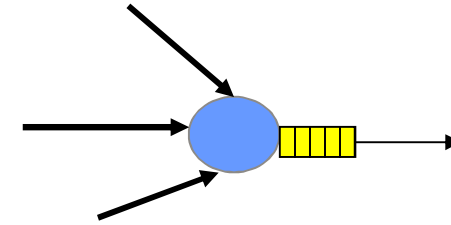
$$L = 7.5 \text{ Mbits}$$

$$R = 1.5 \text{ Mbps}$$

$$\text{siirtoaika linkin yli} = 5 \text{ sec}$$



Pakettikytkentä (packet switching)



Ei varata resursseja eikä siis reittiä etukäteen,

- Varaus tarvittaessa (on-demand)
- Tilastollinen kanavointi (Statistical multiplexing)

jokainen paketti reititetään erikseen => paketit voivat kulkea eri reittejä lähettäjältä vastaanottajalle

Yhteenlaskettu siirtotarve voi ylittää lähtevän linjan siirtonopeuden

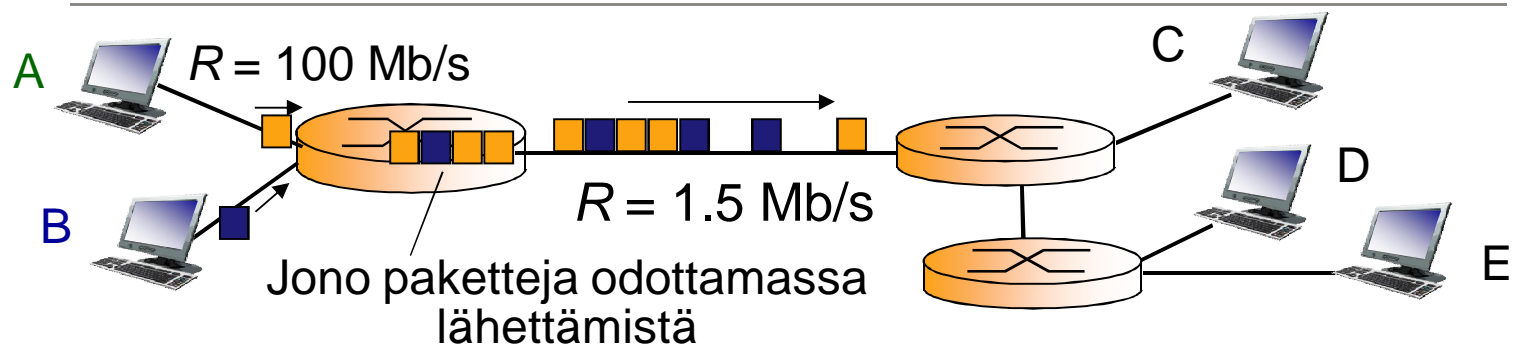
Paketti joutuu odottamaan vuoroaan reitittimen muistissa (jonotusviive, queueing delay)

Ruuhka (congestion) => jopa paketin häviäminen



Pakettikytkentä: jonotus ja katoaminen

Fig 1.12 [KR12]



Jonotus (queuing) ja katoaminen (loss):

Jos paketteja saapuu hetkellisesti nopeammin kuin niitä ehditään lähettää eli saapumistiheys (arrival rate) $>$ lähetystiheys (transmission rate)

 paketit jonottavat lähetyvuoroaan

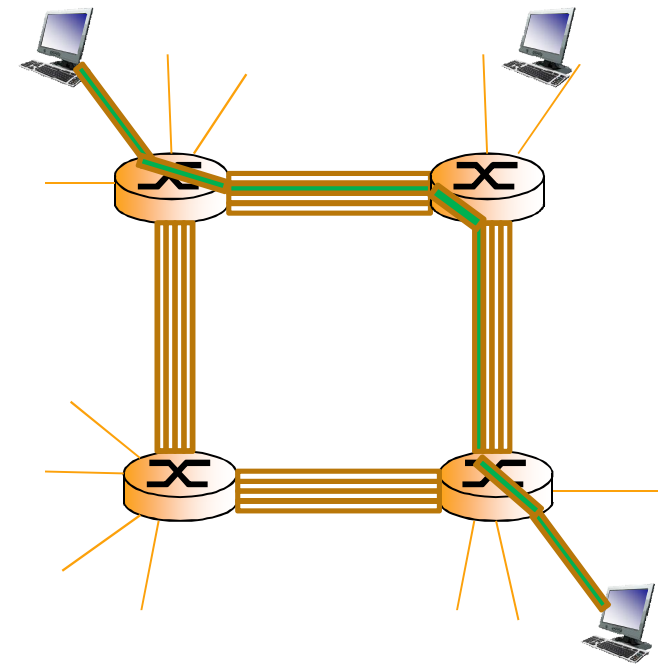
 jos reittimen muisti täyttyy, se kadottaa saapuvia paketteja



Piirikytkentä (circuit switching)

Fig 1.13 [KR12]

- Varaa yhteydelle omat resurssit päästä-päähän koko yhteyden ajaksi
 - Varataan puskurit, linjakapasiteetti
 - Yhteydenmuodostus ("call")
 - Yhteydenpurku ("shutdown")
- Resurssit varattuna, vaikka niitä ei käytettäisi
- Takaa tasaisen nopeuden
 - puhelinverkko

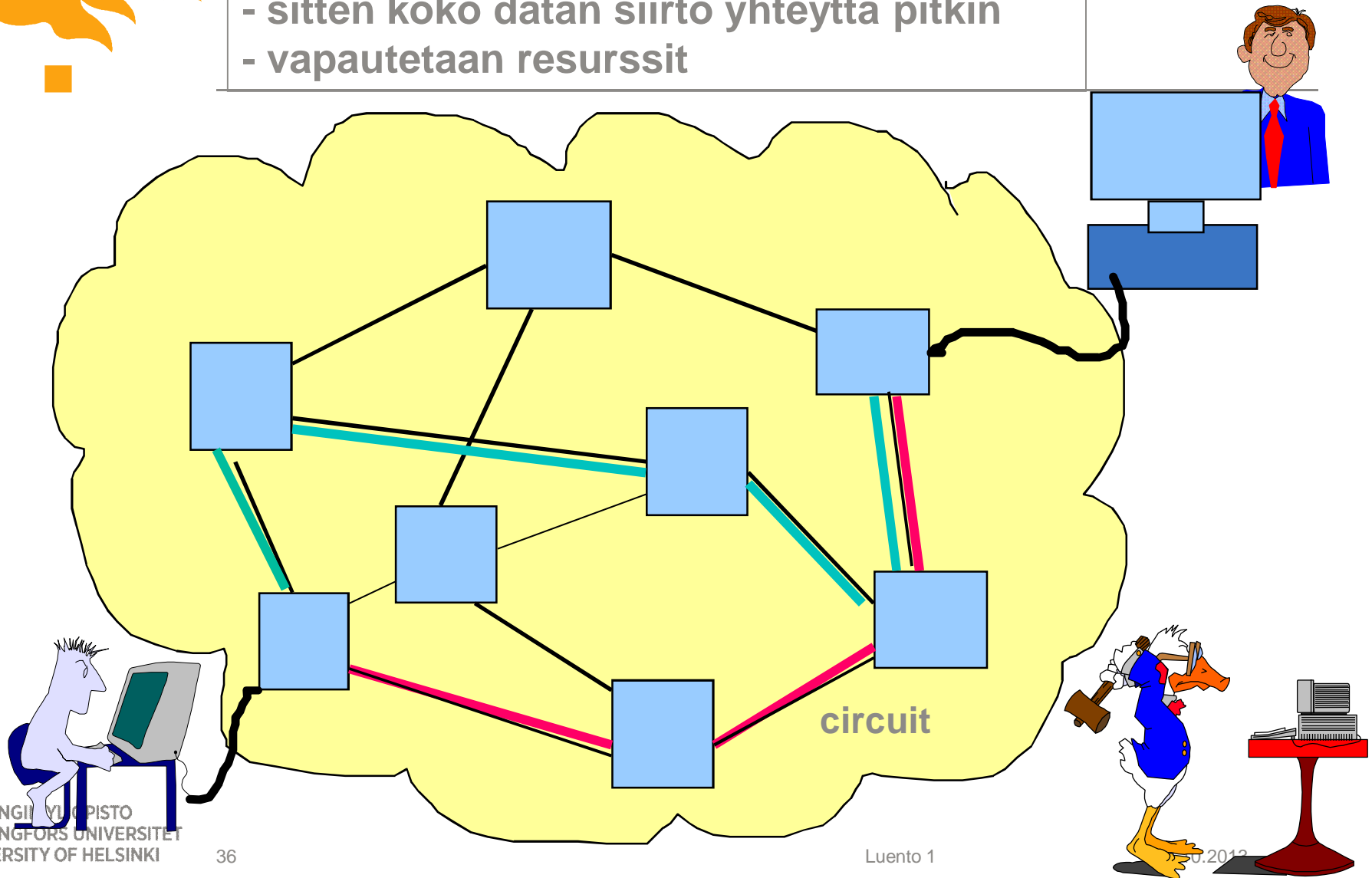


vrt: vesipisteiden yhdistäminen letkuilla ja veden valutus



Piirikytkentä

- ensin varataan resurssit yhteyttä varten
- sitten koko datan siirto yhteyttä pitkin
- vapautetaan resurssit





Piirikytkentä: kanavoointi (multiplexing)

Fig 1.14 [KR12]

Linkille on limitetty usean yhteyden sanomia

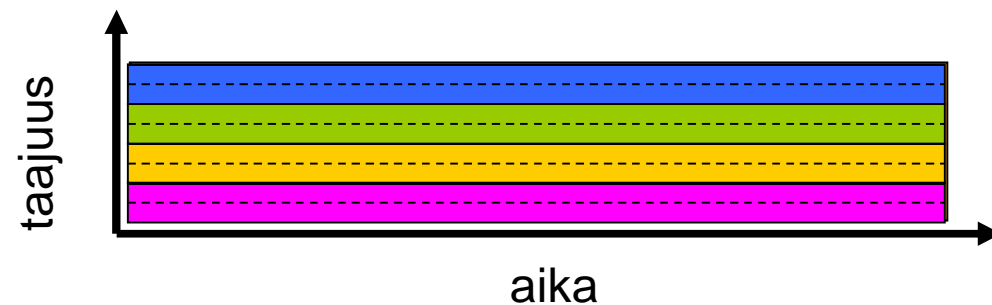
Esimerkki:

4 yhteyttä



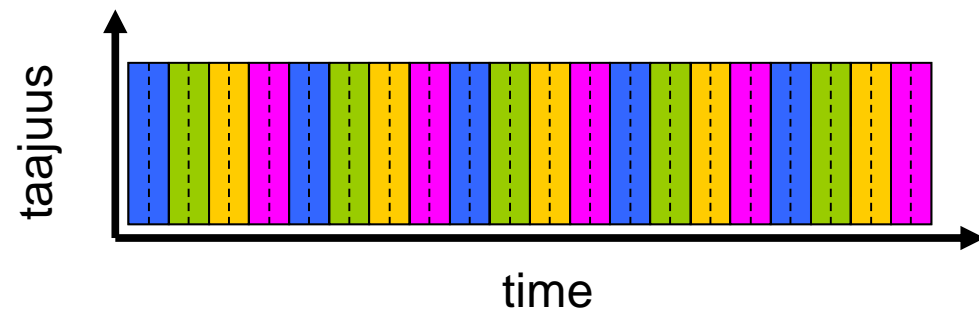
Taajuusjako, FDM (frequency-division multiplexing): linkin kaistanleveys (taajuudet) jaettu käyttäjien kesken

FDM



Aikajako, TDM (time-division multiplexing): jokainen saa käyttöönsä koko kaistanleveyden tietyn aikajakson ajaksi

TDM





Pakettikytkentä vs. piirikytkentä

Pakettikytkentä sallii enemmän samanaikaisia käyttäjiä!

Esimerkki: 1 Mb/s linkki

Jokainen käyttäjä:

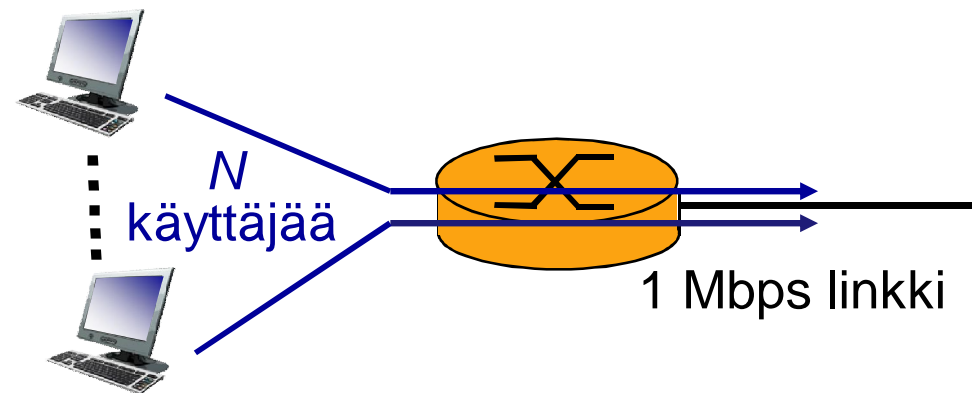
100 kb/s kun “aktiivinen”
aktiivinen 10% ajasta

Piirikytkentä:

10 käyttäjää

Pakettikytkentä:

kun 35 käyttäjää, todennäköisyys
että > 10 aktiivista samaan aikaan
on vähemmän kuin 0.0004



Q: Mistä tulee tuo arvo 0.0004?

$$P_n(\text{aktiivisia} > 10) = 1 - \sum_{k=0}^{10} \binom{35}{k} (0.1)^k (0.9)^{35-k}$$

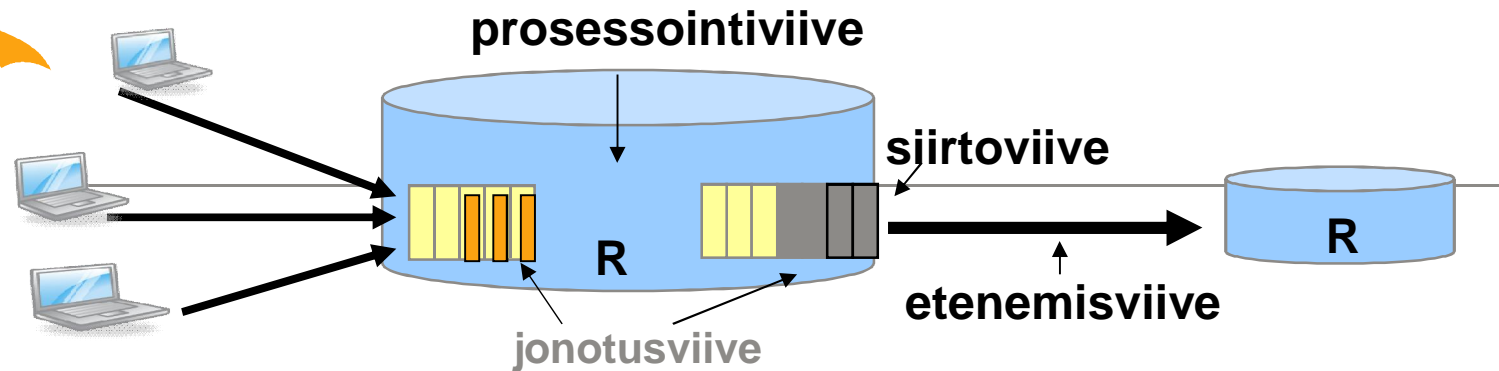


Tietoliikenteen perusteet

Viivettä
siirtotiellä



Viive reitittimessä



Prosessointiviive

Tarkista bittivirheet, hylkää virheelliset paketit

Tutki paketin otsake, selvitä reititystaulusta, mille linkille menossa

Jonotusviive (queuing delay)

Joutuu odottamaan reitittimen puskureissa / jonoissa vuoroaan

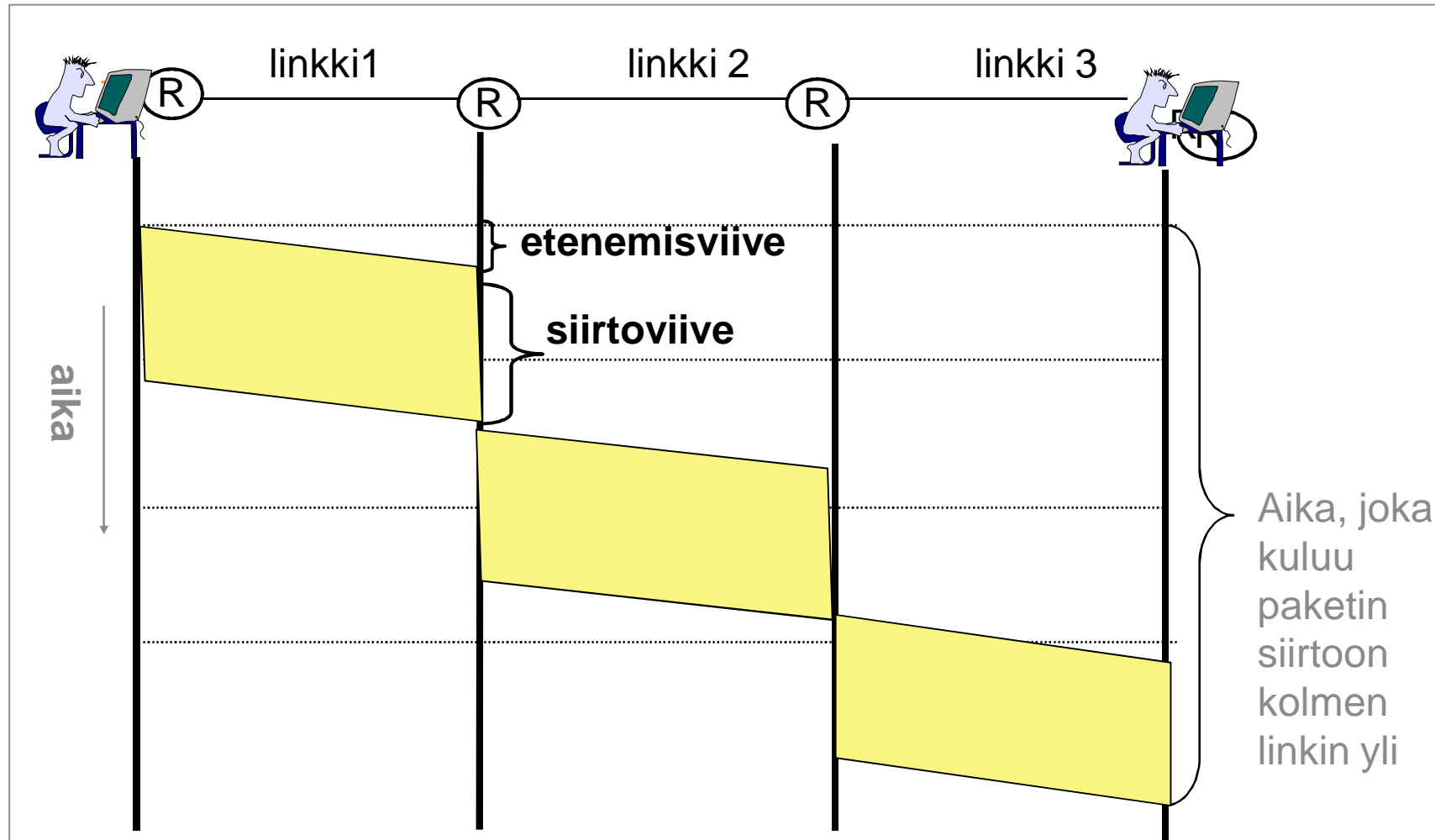
Siirtoviive + etenemisviive

Siirtoviive = paketin lähettämiseen (linkille siirtämiseen) kuluva aika

Etenemisviive = bittien etenemiseen linkillä kuluva aika

Etenemisviive

Java-animaatio (ei toimi laitoksen koneilla):
http://wps.pearsoned.com/ecs_kurose_compnetw_6/ -
companion website, student resources





Etenemisviive (propagation delay)

- Bitit (signaalit) etenevät siirtomediassa
 - mediasta riippuen noin 2/3 valonnopeudesta
- Riippuu etäisyydestä ja hieman siirtomediasta
 - merkitystä etenkin satelliittilinkeillä,
 - myös pitkissä mannerten välisissä yhteyksissä
- Valonnopeus on kattonopeus kaikelle liikenteelle
 - ~300.000 km/s (tyhjiössä: 299.792.458 m/s)

Etenemisviivettä ei yleensä tarvitse huomioida tällä kurssilla, ellei sitä ole erikseen mainittu tai kysytty.