



Luento 7: Verkkokerros tehtävät, reititin ja IP-protokolla

19.11.2012

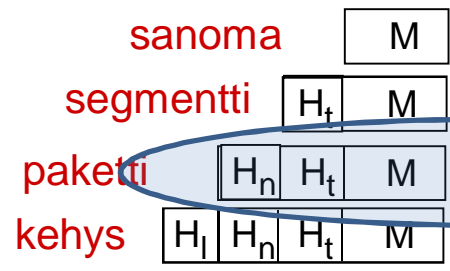
Tiina Niklander

Kurose&Ross
Ch4.1-4.5

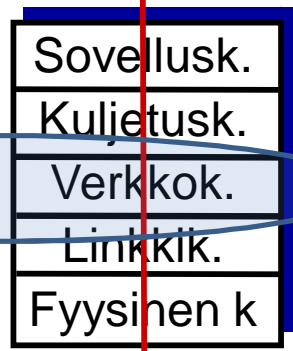
Pääasiallisesti kuvien
© J.F Kurose and K.W. Ross,
All Rights Reserved

Luennon sisältöä

Lähettäjä (sender)



message,
segment
datagram
frame



kytkin

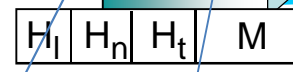
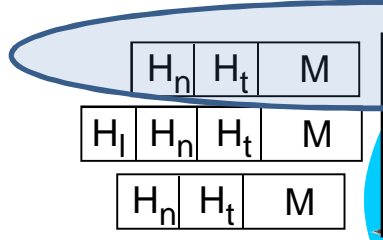
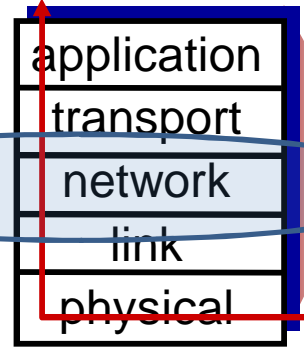
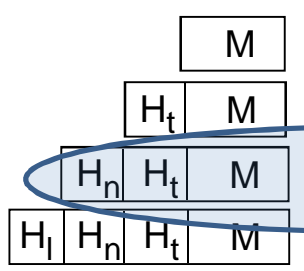


Fig 1.24 [KR12]

Vastaanottaja (recipient)



reititin



Sisältöä

Verkkokerros
Reititin
IP-protokolla
IP-osoitteet, DHCP, NAT
Reititysalgoritmit



Oppimistavoitteet:

- Osaa selittää, kuinka IP-paketteja välitetään verkossa
- Tietää, mitä tietoja sisältyy IP-pakettiin (ja miksi)
- Osaa selittää reitittimen rakenteen ja toiminnan
- Osaa kuvailla, kuinka reitittimet kokoavat reititystietonsa
= linkkitila- ja etäisyysvektorialgoritmien toimintaideat



Verkkokerros

Verkkokerroksen tehtävät



Verkkokerros: Toimittaa kuljetuskerroksen segmentit vastaanottajalle

Lähetys

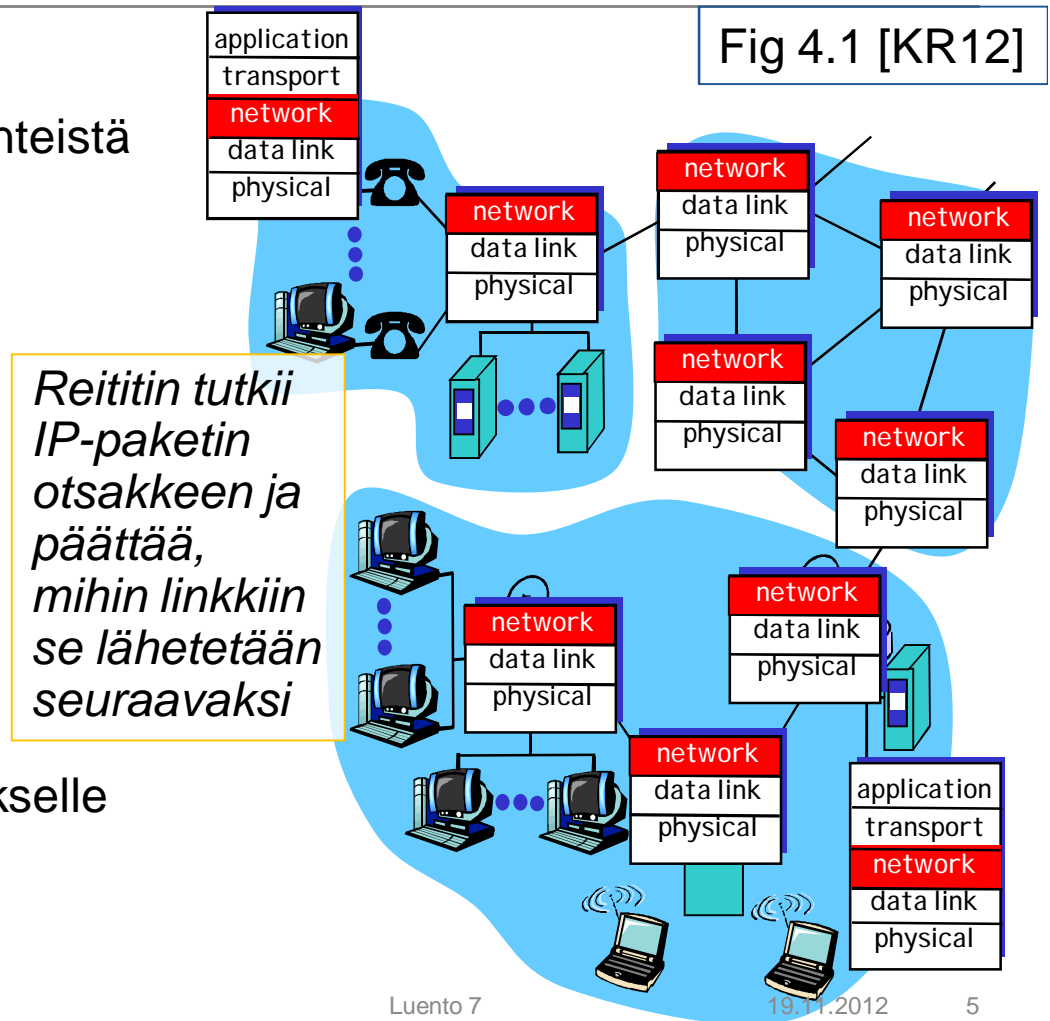
- Luo kuljetuskerroksen segmenteistä verkkokerroksen IP-paketteja
- Lisää otsaketietoja: mm. IP-osoitteet

Pakettien kulku verkossa

- Isäntä (lähde) – reititin - ...- reititin – isäntä (kohde)

Vastaanotto

- Poista otsake
- Anna segmentti kuljetuskerrokselle

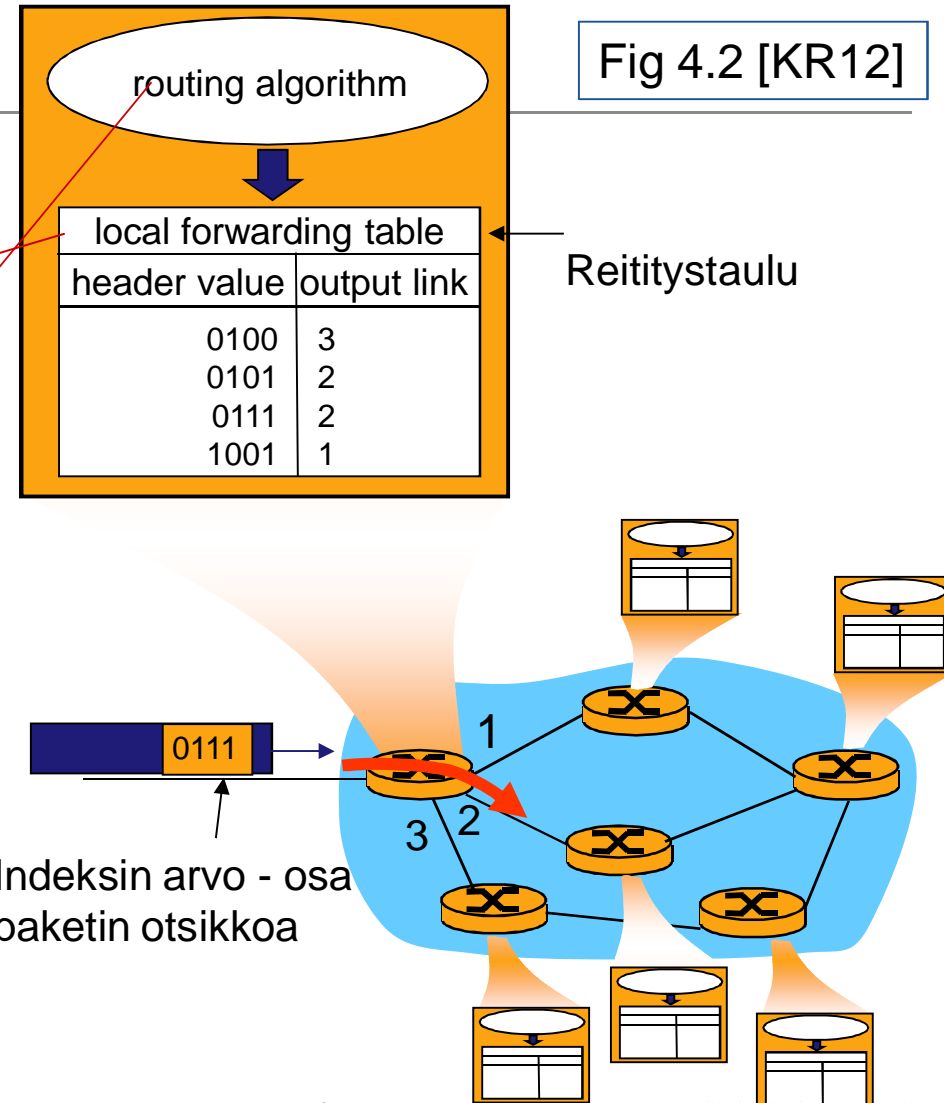




Paketin välitys ja reititys

Reitittimen kaksi tehtävää:

- Paketin välitys (forwarding)
 - Paikallinen päätös
 - mihin ulosmenolinkkiin paketti lähetetään
 - katsoo linkin reititystaulusta
- Reititys (routing)
 - Globaali päätös
 - mitä reittiä paketti kulkee lähettäjältä vastaanottajalle
 - reititystaulun ylläpito





Miksi verkkokerros?

Internet koostuu hyvin heterogeenisista verkoista

- Verkot toteutettu eri teknologialla
- Verkoilla kehyksen (frame) maksimikoko erilainen
- Palvelu: yhteydellinen / yhteydetön,
- Erilaisia osoittamistapoja: yksitasoinen/hierarkkinen
- Monilähetys / yleislähetys
- Toiminnot: virheenkäsittely, vuonvalvonta, ruuhkanvalvonta, yhteyden laatu / laatutakuu (QoS), turvaus, laskutus, ..



Verkkoprotokolla: IP

”Everything over IP, IP over everything”

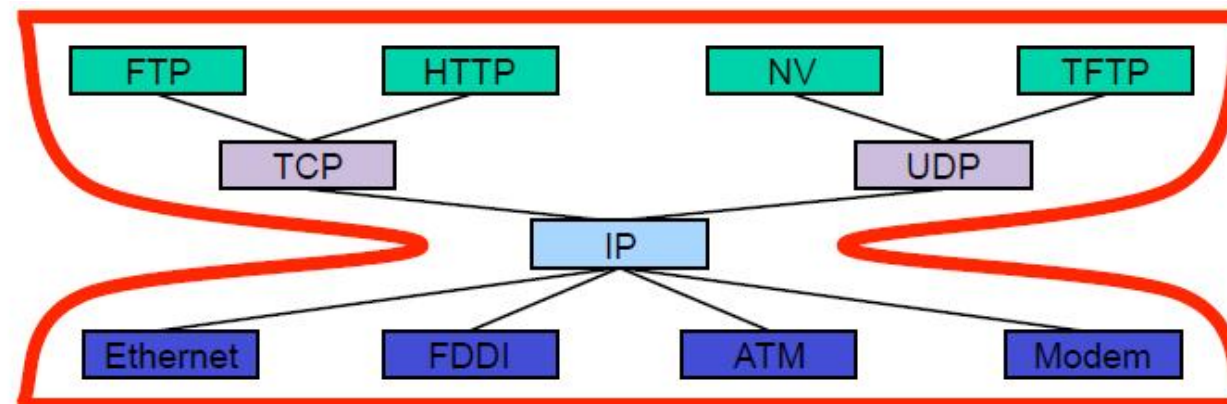
Verkkoprotokolla IP (Internet Protocol) on verkkokerroksen yhteinen kieli

Internetin isäntäkoneiden ja reitittimien kommunikointitapa

- “Kullakin omat murteensa ja tapansa, mutta kaikki osaavat IP:tä.”

Yhteinen osoitustapa: IP-osoite

Yksikäsitteiset osoitteet



Prof. B. Godfrey,
4.3.2011,
luentokalvo,
Univ. Illinois



Verkon palvelun laatu

Table 4.2 [KR12]

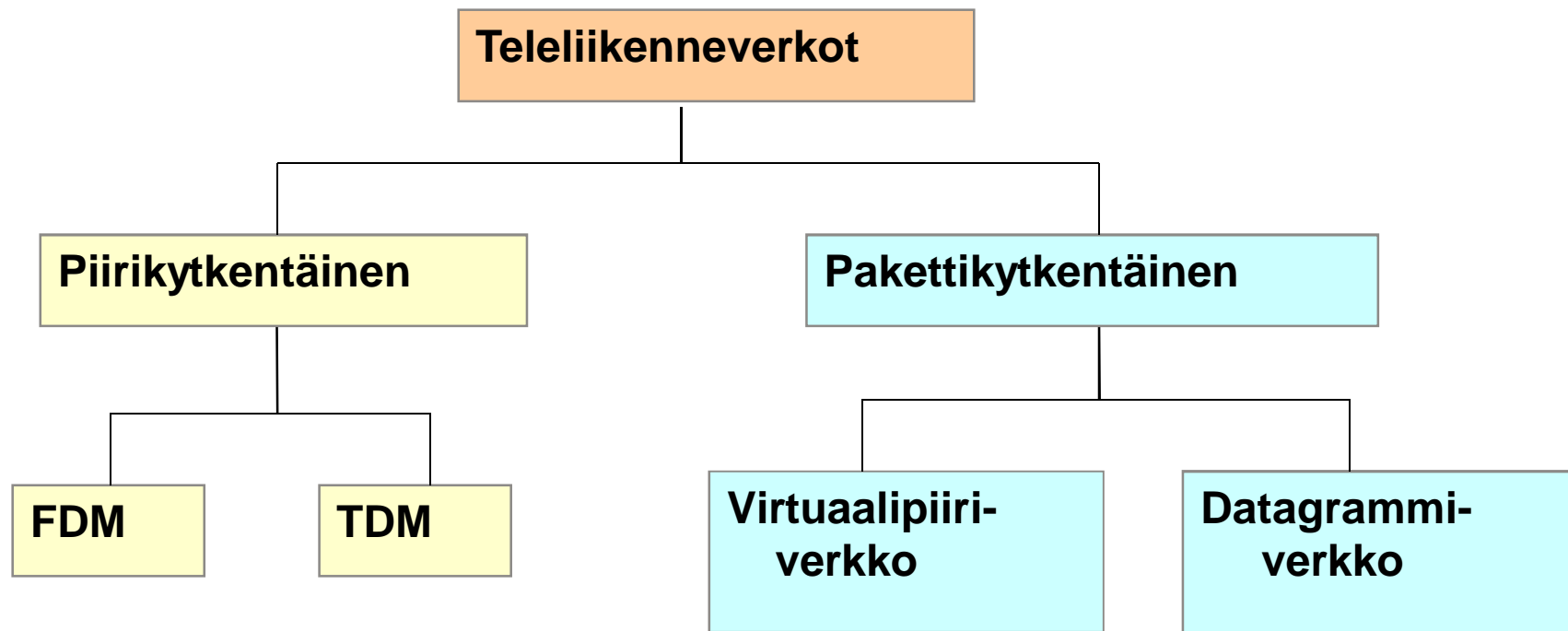
Network Architecture	Service Model	Guarantees ?			Congestion feedback
		Bandwidth	Loss	Order Timing	
Internet	best effort	none	no	no	no (inferred via loss)
ATM	CBR	constant rate	yes	yes	no congestion
ATM	ABR	guaranteed minimum	no	yes	yes

ATM – Asynchronous Transfer Mode
 CBR – Constant Bit Rate
 ABR – Available Bit Rate

(ATM-verkko on puhelinverkon ytimessä)



Verkkojen taksonomia



FDM – Frequency-division Multiplexing
TDM – Time-division Multiplexing



Pakettikytkentäinen verkko

Joko datagrammiverkkona
(= Internet)

Sanoman jokainen paketti
reititetään erikseen

- kohteen IP-osoitteen
perusteella

“Tyhmä verkkokerros”: vain
pakettien välitys
koneelta koneelle

“Fiksut isäntäkoneet”:
virheenvalvonta,
vuonvalvonta, järjestys

tai virtuaalipiiriverkkona

Sanoman jokainen paketti kulkee samaa
reittiä pitkin

- linkkiin liitetyn virtuaalipiirinumeron
perusteella

Signaalointiprotokolla:
yhteydenmuodostus, ylläpito, purku

- yhteyden tietoja reitittimessä
(virtuaalipiirin muunnostaulukko)
- mahd. myös kaistanvarausta

Fiksu verkkokerros: vuonvalvonta,
virhevalvonta, järjestys

tyhmät isäntäkoneet: vrt. Puhelin

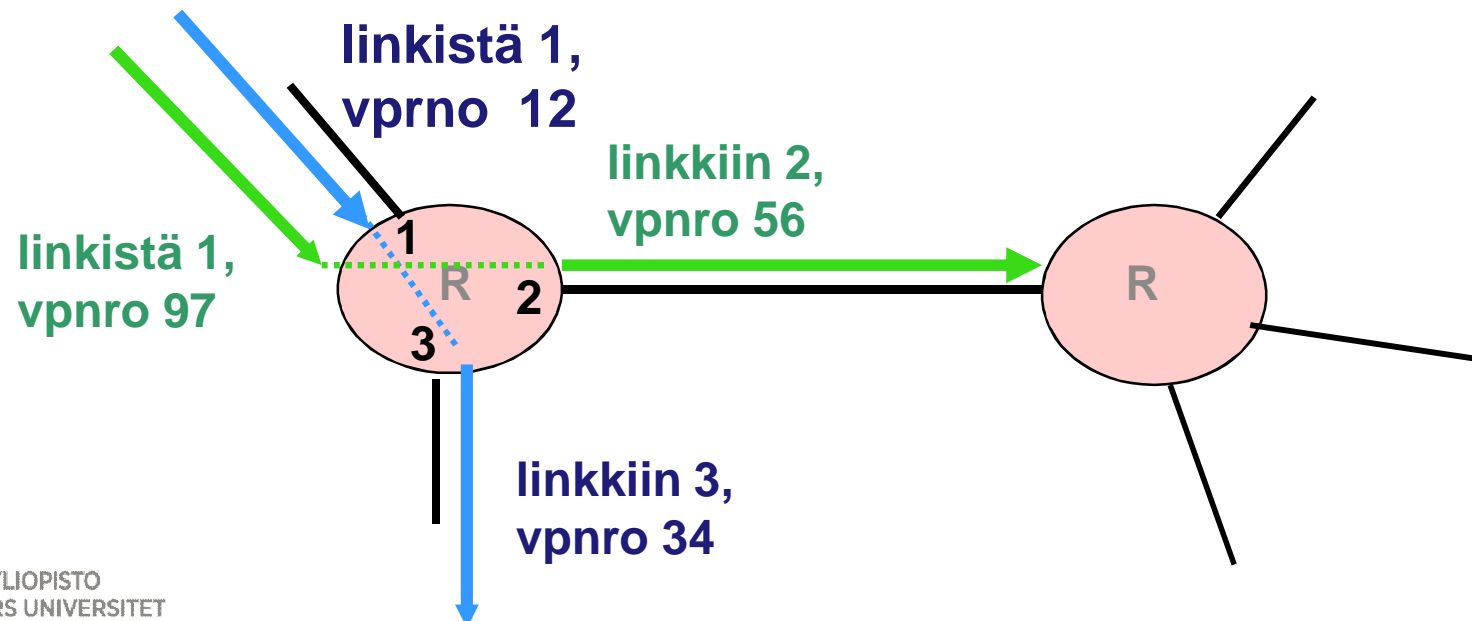
ATM-verkot (Asynchronous Transfer
Mode), X.25-verkot



Reititys: Virtuaalipiiriverkko

1. paketti muodostaa reitin, muut paketit kulkevat samaa reittiä
otsakkeessa kohdeosoitteen lisäksi virtuaalipiirinumero (vpnro)
reititin ylläpitää tietoa piirinumeroista ('hajujälki')

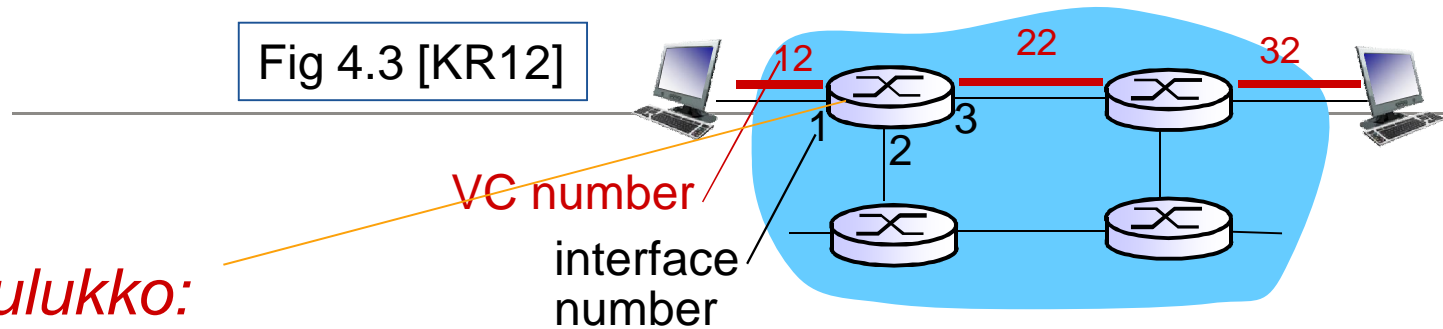
Reititys = selvittää vpnro:a vastaava linkki, välittää paketti linkille





Virtuaalipiirin muunnostaulukko

Fig 4.3 [KR12]



Reittimen muunnostaulukko:

Incoming interface	Incoming VC #	Outgoing interface	Outgoing VC #
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

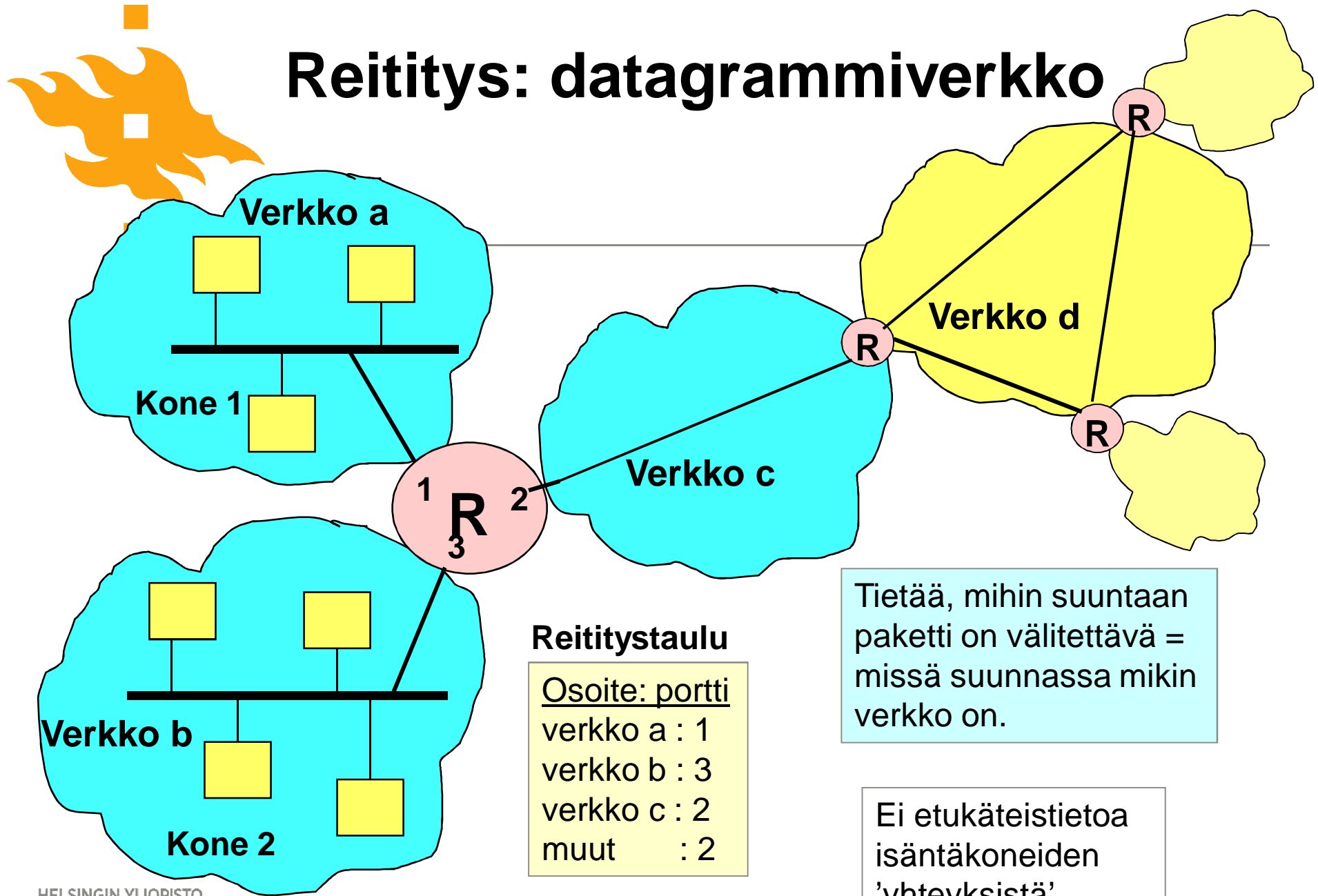
**Taulukkoa päivitettävä aina kun uusi yhteys on muodostettu tai vanha purettu!
 Pakettivälitystä: Ylläpitää kyllä tilatietoja yhteydestä (=vpnro),
 mutta ei varaa resursseja etukäteen!**



Virtuaalipiirin muunnostaulukko

- Virtuaalilyhteyden joka linkillä omat VP-numerot
 - reititin antaa VP-numerot
- Miksi ei käytetä koko yhteydellä samaa VP-numeroa?
 - Tarvittaisiin paljon enemmän numeroita!
 - Nyt riittää pienempi numeroavaruus =>
 - tarvitaan pienempi kenttä numeroa varten
 - 0-255 => riittää 8 bittiä
 - 0-4095 => tarvitaan 12 bittiä
 - Yhteisestä, koko verkon läpikäyvästä numeroinnista sopiminen on isossa verkossa lähes mahdoton tehtävä!

Reititys: datagrammiverkko





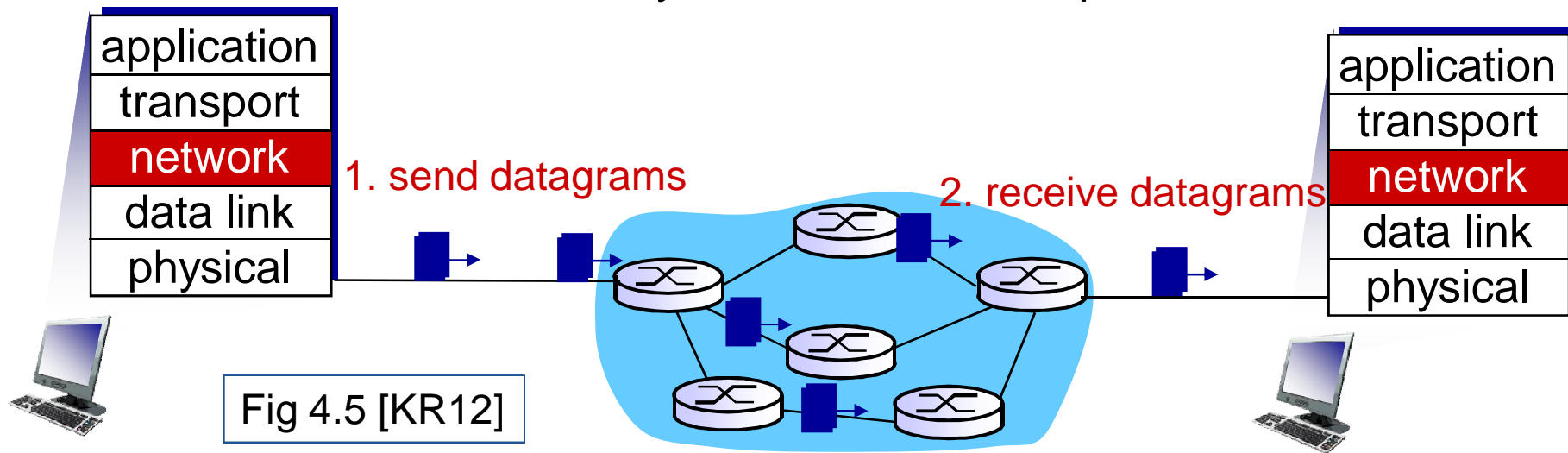
Datagrammiverkko

Ei yhteyden muodostusta erikseen

Reittimet: ei tietoa päästä-päähän yhteyksistä

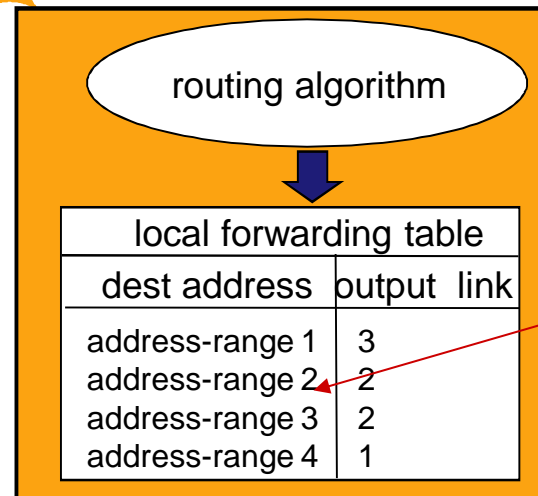
Ei käsitettä 'yhteys' (connection) verkkokerroksella

Pakettien välitys kohdeosoitteen perusteella





Datagrammiverkon muunnostaulukko



4 miljardia IP-osoitetta,
yksittäisten osoitteiden
sijasta osoitevälejä
(aggregate table entries)

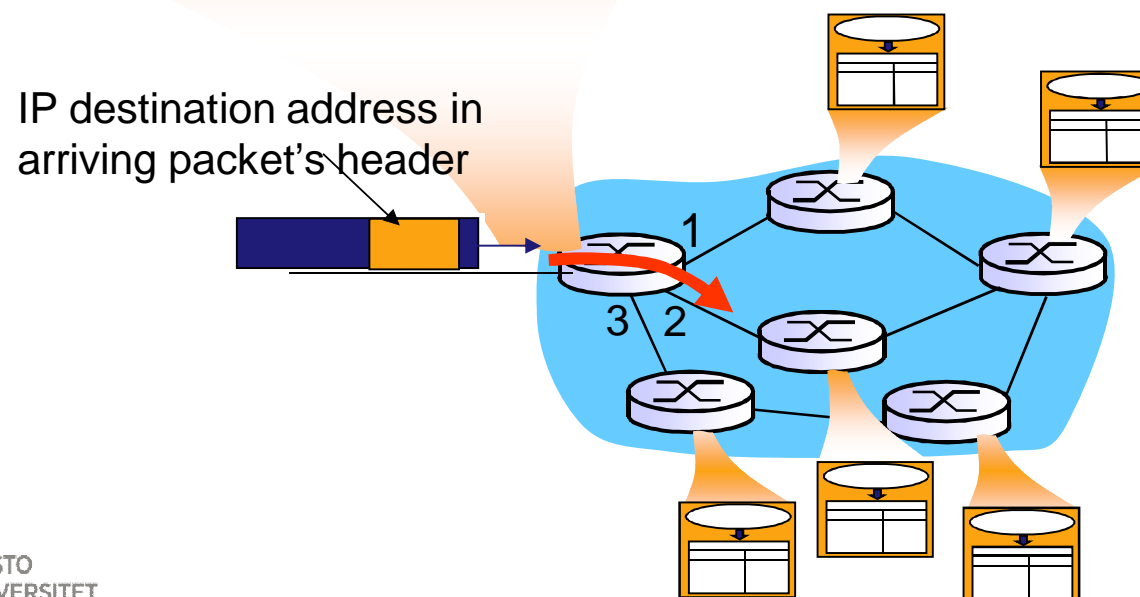


Fig 4.2 [KR12]



Datagrammiverkon muunnostaulukko

Destination Address Range	Link Interface
11001000 00010111 00010000 00000000 through 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 through 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 through 11001000 00010111 00011111 11111111	2
otherwise	3



Pisin alkuosa (longest prefix matching)

Muunnostaulukosta etsitään osumaa. Jos useita, niin käytetään sitä, jolla on **pisin** yhteinen osoitteen **alkuosa**.

Destination Address Range	Link interface
11001000 00010111 00010*** *****	0
11001000 00010111 00011000 *****	1
11001000 00010111 00011*** *****	2
otherwise	3

esimerkki:

DA: 11001000 00010111 00010**110** 10100001

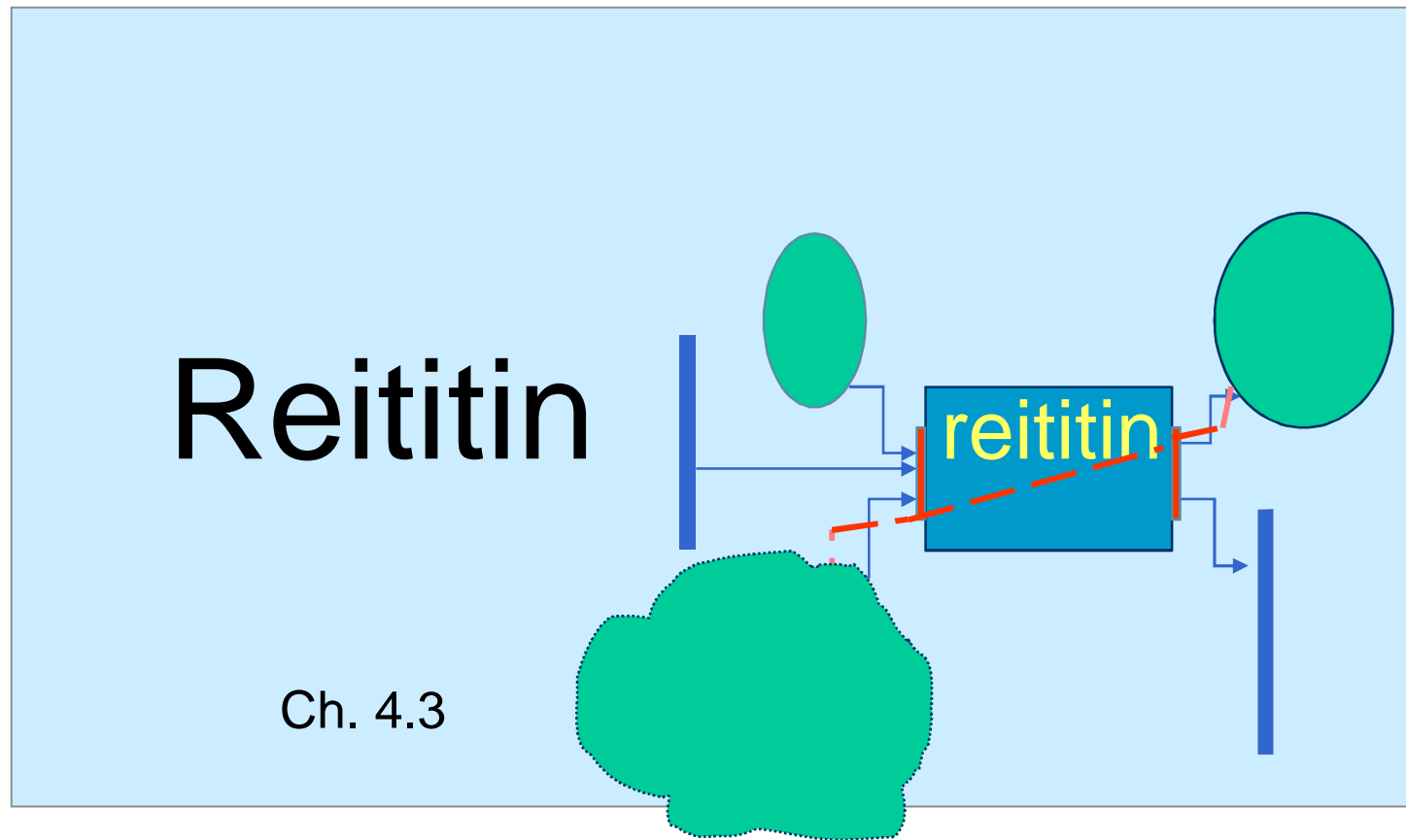
Mihin linkkiin?

DA: 11001000 00010111 00011000 **10101010**

Mihin linkkiin?



Verkkokerros





Verkkokerros ~ reitittäminen

Reititin (router)

Osoite muunnokset siihen
kytkettyjen
teknologioiden välillä

Sisääntulolinkki ja
ulosmenolinkki voivat
ollat *eri teknologiaa*

Välittää **verkkokerroksen**
otsakkeen perusteella
(IP-osoite)

Laitteistotoimintona tai osin
ohjelmallisesti

Kytkin (switch)

Sekä sisääntulolinkki että
ulosmenolinkki ovat
samaa teknologiaa

Lähiverkon sisällä välitys
linkkikerroksen
otsakkeen perusteella

Poikkeuksetta aina
laitetason toimintona



Reitittimen arkkitehtuuri

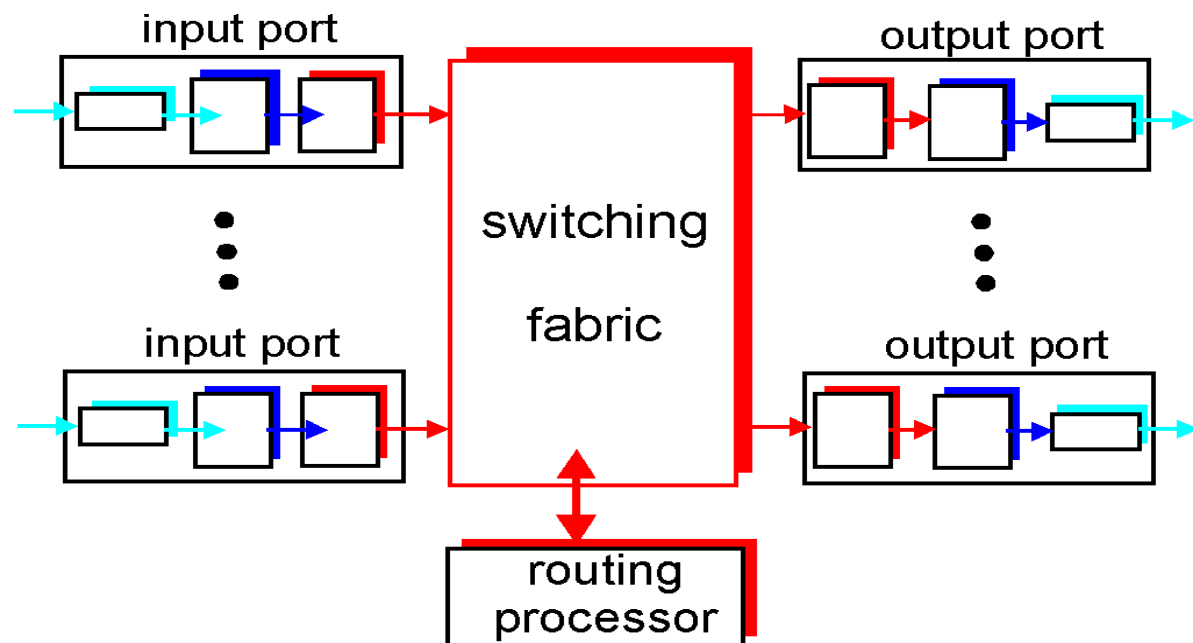
Fig 4.6 [KR12]

Kaksi tehtävää

- Välitä paketteja tulolinkeistä ulosmenolinkkeihin
- Suorita reititysalgoritmia / -protokollaa

Portti ~ verkkokortti

Useita portteja
niputettu yhteen
linjakorteiksi (line
card)



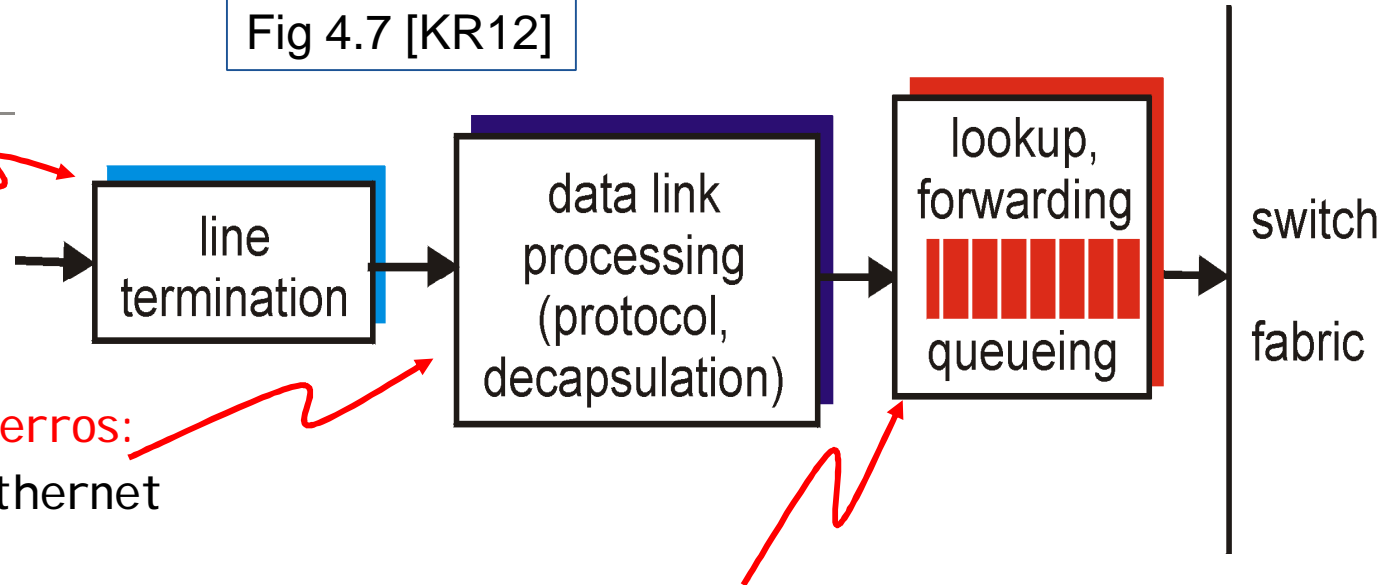


Sisääntuloportti (input port)

Fig 4.7 [KR12]

Fyysinen kerros
bittitason esitys

Linkkikerros:
e.g., Ethernet



Tavoite: paketti ulos sisääntulon nopeudella

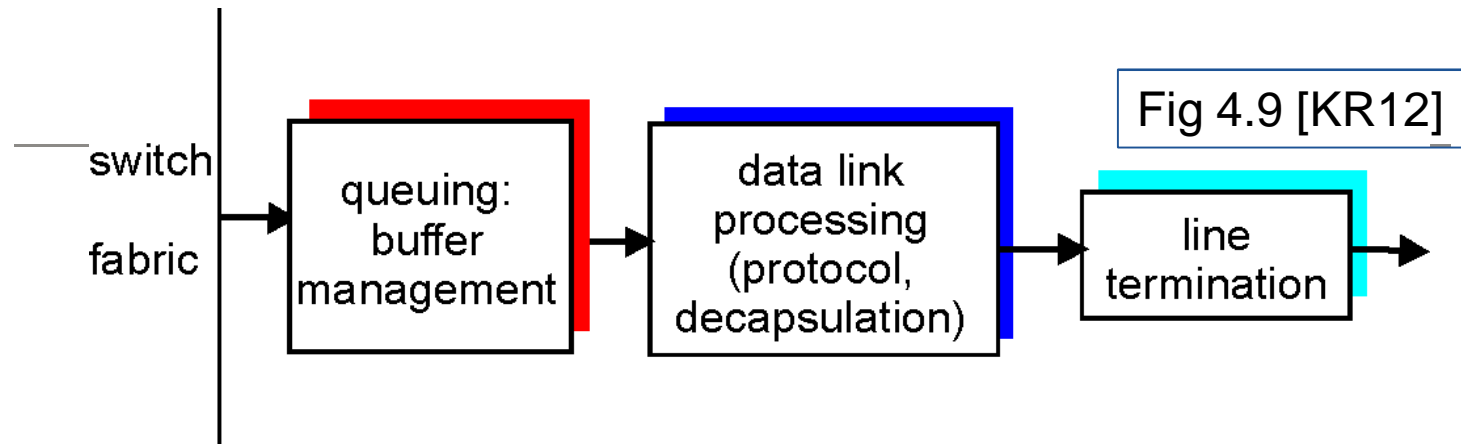
Jonotus: jos ulosmeno hitaampi kuin sisääntulo
tai joku muu siirtää samaan ulostuloon

myös HOL (head-of-line blocking)

Jos linjanopeus
2.5 Gbps ja
paketin koko 256
tavua => 1.2
miljoonaa pakettia
sekunnissa!



Ulosmenoportti (output port)

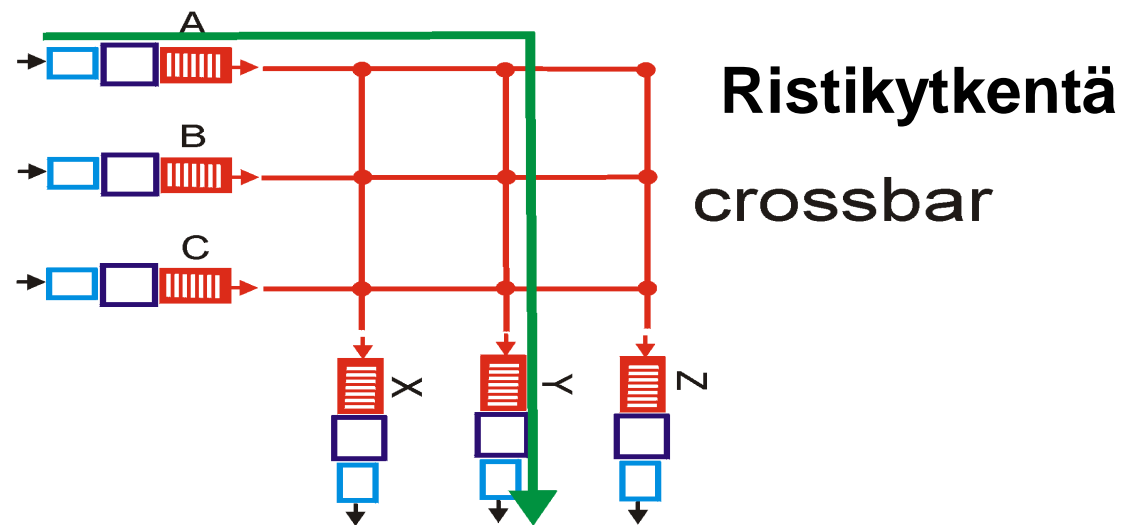
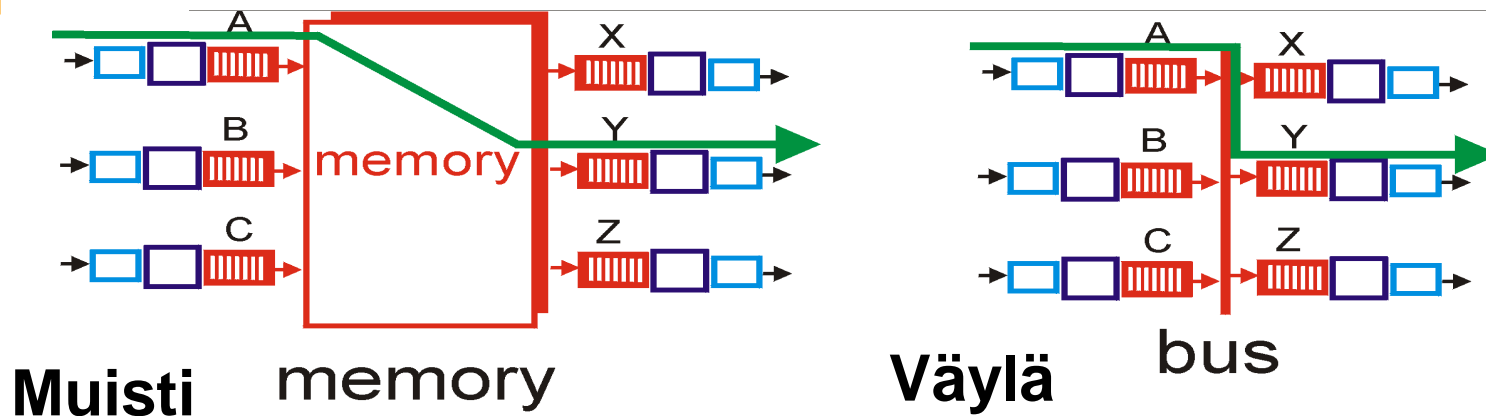


- **Puskuroi**, jos paketteja tulee nopeammin kuin ulosmenon siirtonopeus sallii
 - Sisääntulo nopeampi tai monesta samaan kohteeseen
- Voi käyttää priorisointia (packet scheduling)
 - FCFS (First Come First Serviced), WFQ (Weighted Fair Queuieng),...
 - QoS (Quality of Service) (ei käsitellä tällä kurssilla!)
- Suorittaa linkki- ja fyysisen kerroksen operaatiot



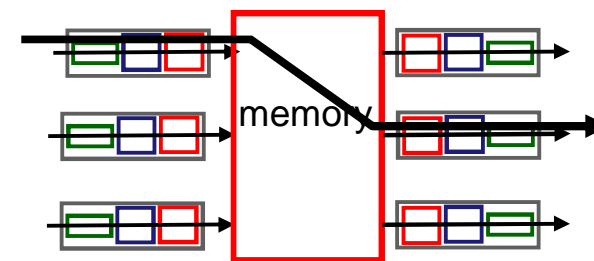
Kolme erilaista kytkentätapaa:

Fig 4.8 [KR12]

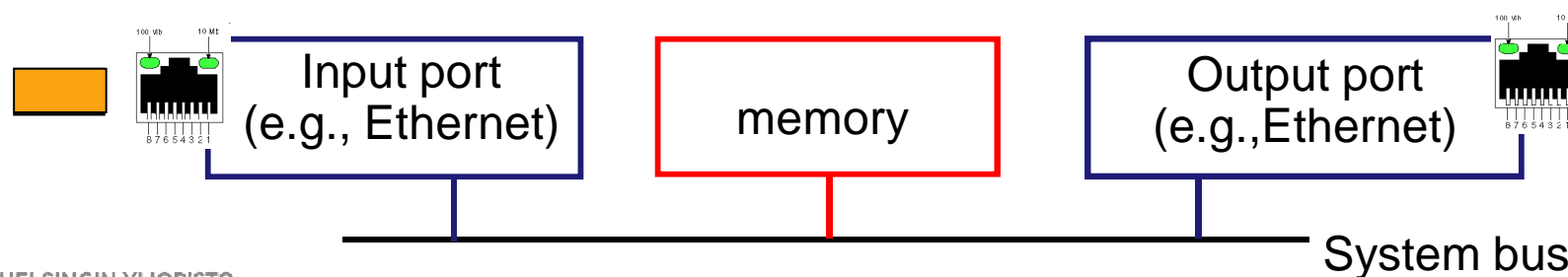




Kytöntä muistin kautta

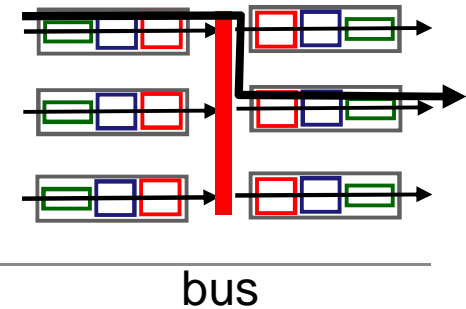


- “Tavallinen” tietokone reitittimenä
 - Sisääntulo (Input): keskeytys, CPU kopioi paketin muistiin, tutkii minne on menossa
 - Ulosmeno (Output) : CPU kopioi paketin muistista
 - **Väylä** (Bus) on pullonkaula: 2 kopiointia per paketti
- Linkkikerros ja fyysinen kerros laitetoimintoja
- Jonot keskusmuistissa





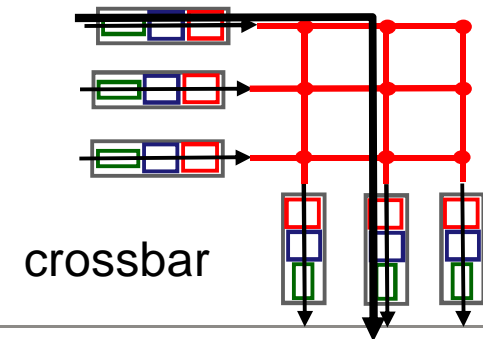
KytKentä väylän kautta



- Sisääntulo siirtää paketin väylän kautta suoraan ulosmenoporttiin
- Vain yksi kytkentä aktiivinen kerrallaan
 - Väylä edelleen pullonkaula
- Väylänopeus rajoittaa kytkentänopeutta
 - Gbps nopeudet, riittävä LAN- ja yritysverkoilla



KytKentä risti- kytkennän kautta



- Yhden väylän sijaan ristikytkentä (crossbar switch)
 - $2 \cdot N$ väylää yhdistää N sisääntuloa ja N ulosmenoa
 - Valitse vaaka- ja pystylinja
- Jos sama ulosmeno/sisääntulo, odotus sisääntuloportissa
 - Sisääntulo voi pilkkoa paketin pienemmiksi soluiksi (cell) ja välittää yksi kerrallaan
 - Ulostulo kokoaa solut taas paketeiksi
- Suuri siirtonopeus
 - Esim. Cisco 12000: 64 Gbps



Reititys ja reititysprosessori

- Prosessori suorittaa reititysprotokollaa
 - Reititysinformaation välitystä reitittimeltä toiselle
 - RIP, OSPF, BGP,...
 - Esim. 5 minuutin välein
- Sisääntulot toimittavat reititysprotokollien paketit prosessorille
- Ylläpitää porttien reititystauluja
 - Kun muuttuu, uusi kopio kullekin portille
- Hallinta- ja ylläpitotoimintoja
 - Reitittimelläkin voi olla suoritettavana sovelluksia



Pakettien hylkäys

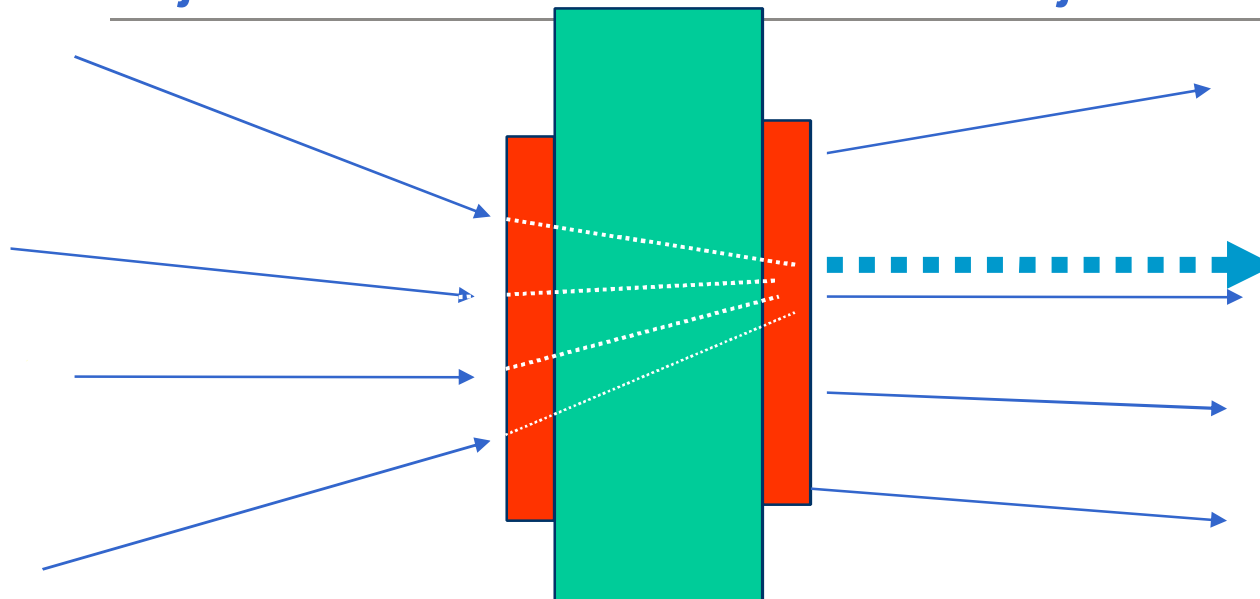
1. Kun puskuritila ei riitä
 - Hylkää saapuva paketti (drop-tail) tai joku muu ..
 - Se kummassa jonossa paketit hylätään, riippuu kytkennän ja linjan nopeuden suhteista
 - RED (Random Early Detection): hylkää jo ennenkuin puskuri täyttyy
2. Siirtovirhe
 - Linkkikerros saa hylätä virheellisen
 - Verkkokerros saa hylätä virheellisen (ICMP-protokolla)
3. Paketin elinaika (Time-to-live, TTL)



Pakettien hylkäys ulosmenossa

N linjaa sisään

N linjaa ulos

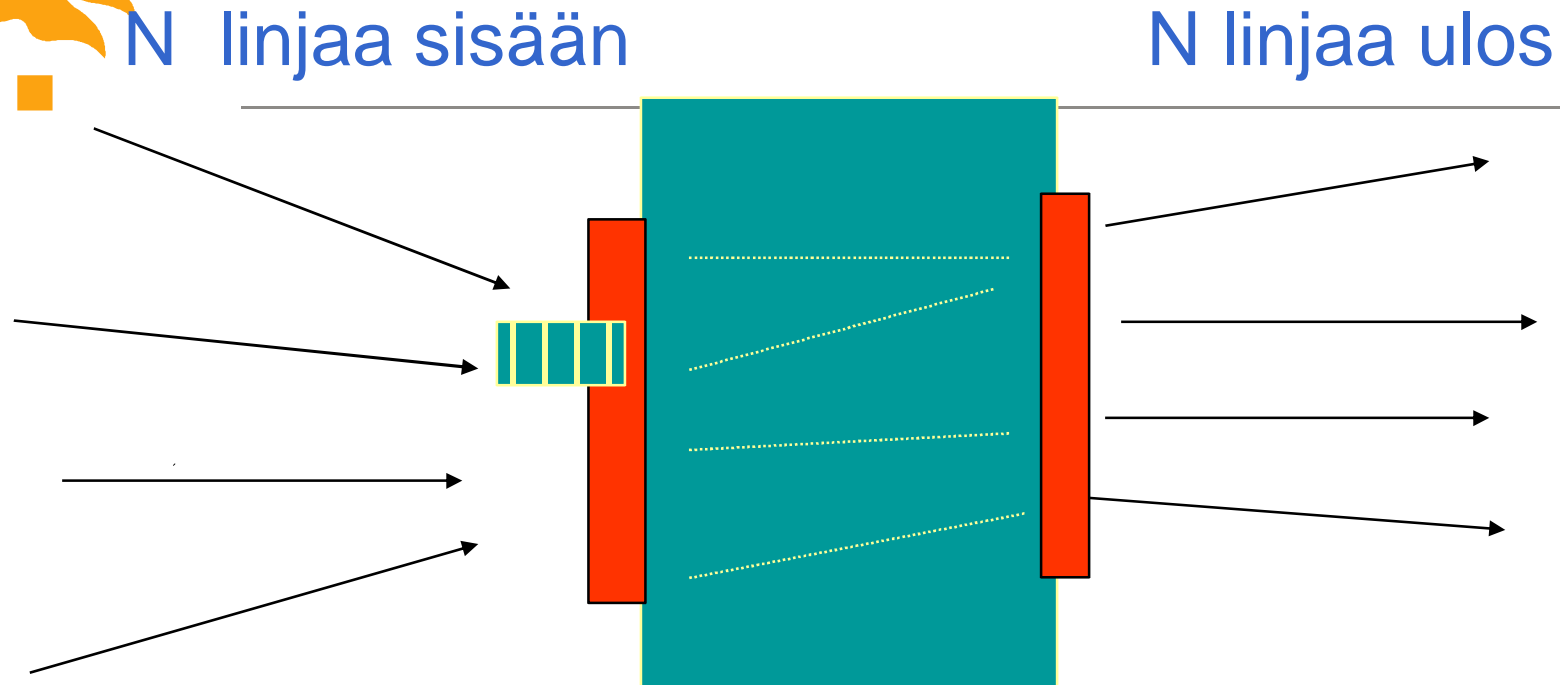


Kytkin toimii riittävällä nopeudella, joten sisääntulossa ei tarvitse jonottaa.

Yhdelle linjalle liian paljon liikennettä =>
ulosmenoportin puskuritila täyttyy ja paketteja katoaa!



Paketin hylkäys sisääntulossa



Jos kytkin ei toimi tarpeeksi nopeasti, sisääntuloportteihin syntyy jonoja.

Esim. Ristikytkenässä paketti joutuu odottamaan, jos samaan kohteeseen on menossa useita paketteja. Jonottava paketti voi tukkia tien myös muilta saman portin paketeilta, jotka muuten voisivat edetä kytkimessä. (head-of-the-line-blocking)

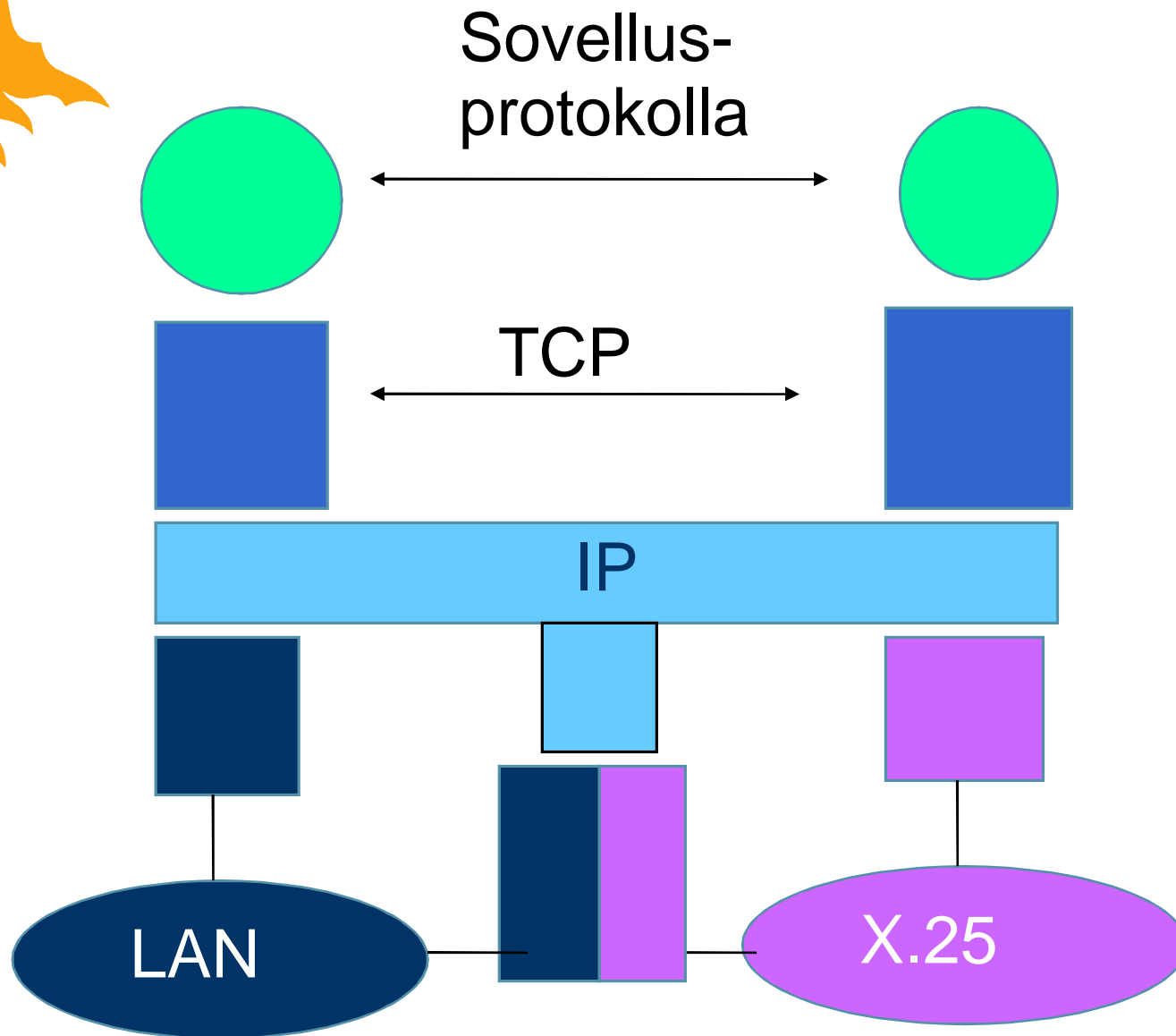


Verkkokerros

IP-protokolla

Ch 4.4

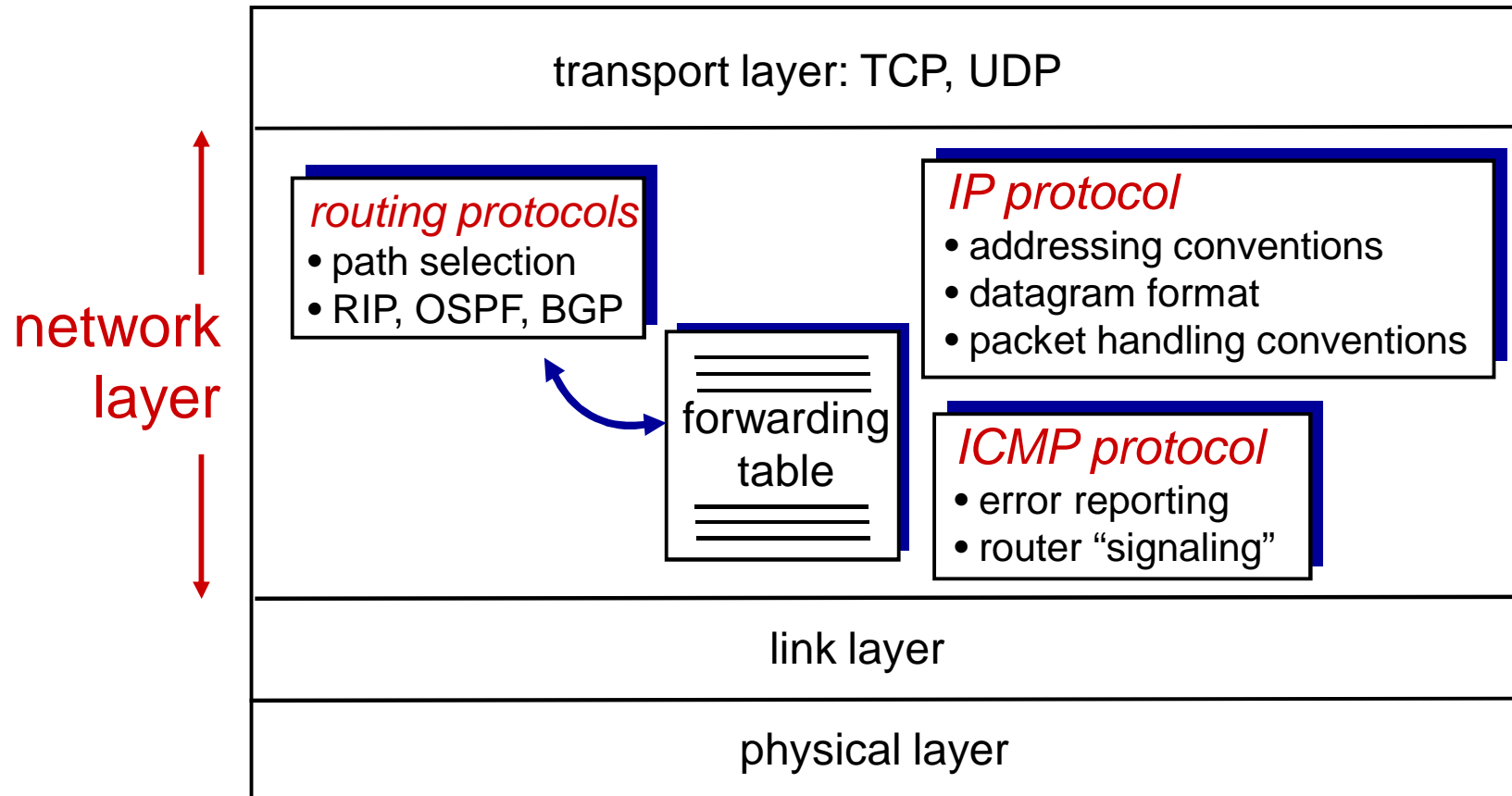
RFC 791





Internetin verkkokerros

Fig 4.12 [KR12]





Internetin verkkokerros

Tällä kurssilla: IPv4 ja reitityksen periaatteet
Etäisyysvektoreireititys ja Linkkitilareititys (luento 8)

Internet-protokollat kurssilla:

IPv6, ICMP (Internet Control Message Protocol)

Reititysprotokollat

Reititystaulujen (forwarding table) ylläpitämistä varten

Erillään tavallisten pakettien lähetyksestä

RIP (Routing Information Protocol): etäisyysvektorialgoritmi

OSPF (Open Shortest Path First): linkkitila-algoritmi

BGP (Border Gateway Protocol): hierarkkinen,
autonomisten alueiden välinen algoritmi



Internetin verkkokerros

ICMP (Internet Control Message Protocol)

Protokolla, jolla isännät ja reitittimet vaihtavat verkkokerroksen kuulumisia

Tavallaan verkkokerroksen päällä: IP-paketissa kuljetuskerroksen tietojen sijasta ICMP-dataa

Virheraportointi: unreachable host/network/port/protocol

Reititin ei tiedä, minne toimittaisi ...

Kaiutus: echo request / reply

tätä ping ja traceroute käyttävät RTT:n mittaamisessa

IPv6

Uudistettu versio IP-protokollasta, 128 bitin IP-osoite
mm. kiinteänkokoinen otsake, ei tarkistussummaa,
pakettien paloittelu jo lähettäjän koneessa

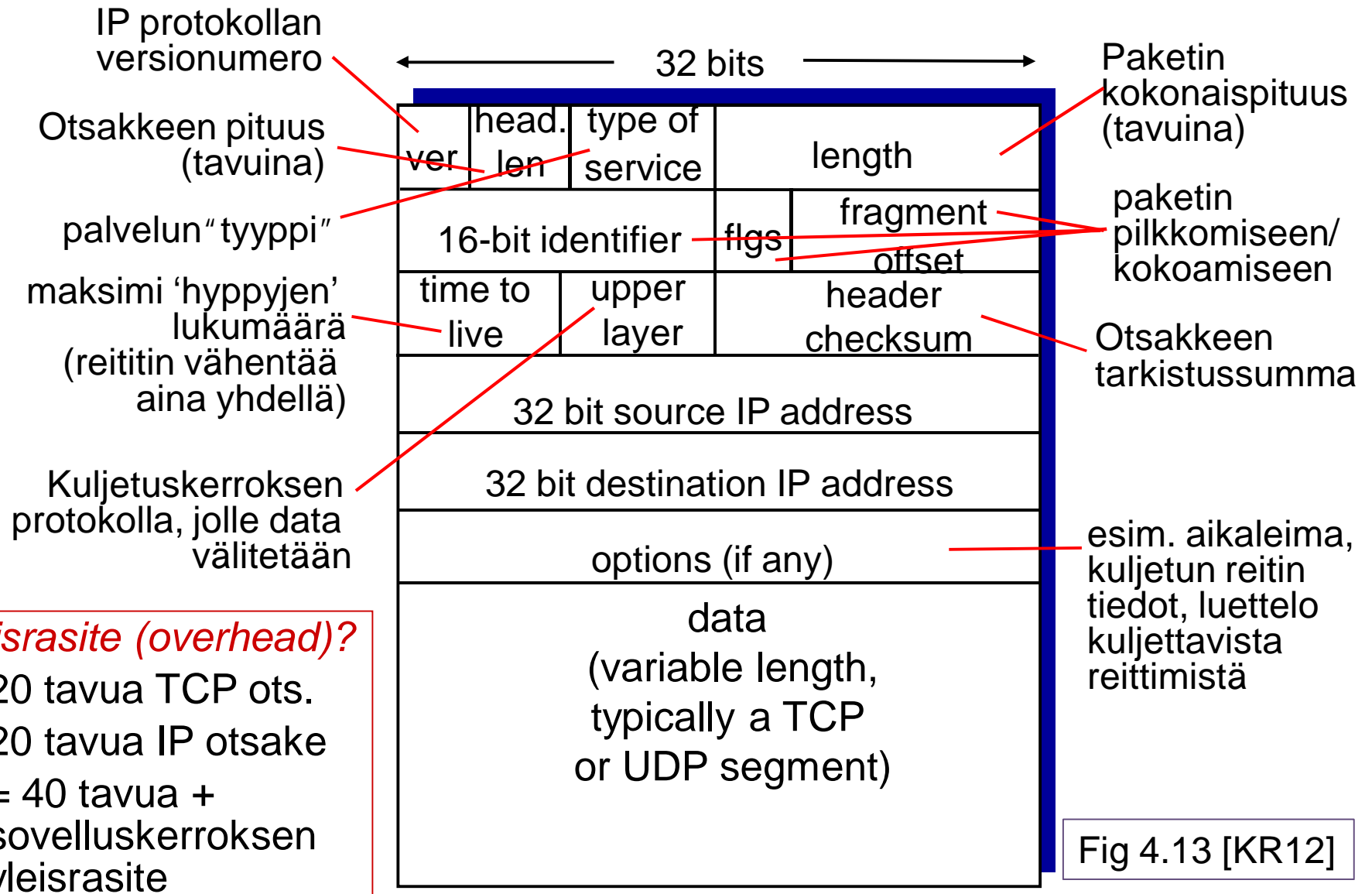


Verkkokerroksen IP-protokolla siirtää kuljetuskerroksen segmentit lähdekoneelta kohdekoneelle

- Tarvitaan
 - Osoitteet (lähettäjä, vastaanottaja)
 - Tieto ylemmän kerroksen protokollasta (UDP, TCP tai joku muu), jotta osaa antaa oikealle rutiinille
 - Liian ison IP-paketin paloittelu tarvittaessa pienemmiksi IP-paketeiksi
 - 'Harhautuneiden' pakettien hävittäminen (time-to-live)
 - Tarkistukset (checksum)
- Hyviä ominaisuuksia (?)
 - Siirtopalvelun eriyttäminen erityyppisille sovelluksille
 - Lähdereititys (source routing): lähettäjä määrää reitin, paketissa tieto siirtopolusta

IPv4 paketin rakenne

otsake 20+ tavua



Yleisrasite (overhead)?

- ❖ 20 tavua TCP ots.
- ❖ 20 tavua IP otsake
- ❖ = 40 tavua + sovelluskerroksen yleisrasite

Fig 4.13 [KR12]



IP-otsake

- Versionumero
 - IPv4 vai IPv6, kummallakin erilainen otsake
- Otsakkeen pituus (header length)
 - Vaihtelevan pituinen optiokenttä, minimi on 20 B
- TOS-kenttä (Type of Service)
 - Varattu halutun palvelun kertomiseen:
 - Nopeus, luotettavuus, kapasiteetti; ääni vs. tiedosto
 - Yleensä ei ole käytössä (osa käytössä uusissa reitittimissä)
- IP-paketin pituus (Datagram length)
 - Koko IP-paketin pituus tavuina, maksimi 65535 B
 - Tavallisimmin 576-1500 B
- Paketin tunniste (16-bit identifier), lippuja (flags), palan paikka (fragmentation offset)
 - Paketin pilkkomiseen pienemmiksi ja kokoamiseen takaisin isoksi



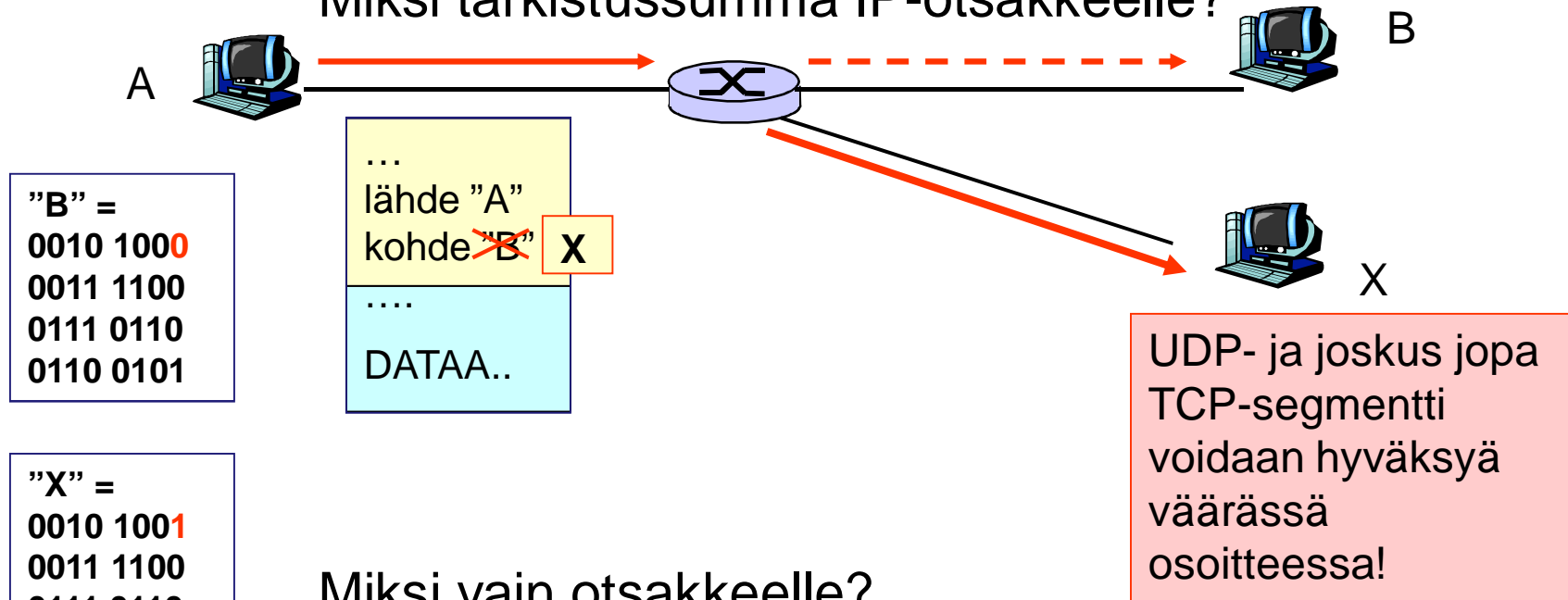
IP-otsake (jatkuu)

- Elinaika (time-to-live, TTL)
 - Rajoittaa paketin elinaikaa, maksimi 255
 - Vähenee joka hypyllä reitittimestä toiseen, kun TTL=0, hylätään
- Kuljetusprotokolla (Upper-layer protocol)
 - Kumpi kuljetuskerroksen protokolla (TCP=6, UDP=17) vai kenties verkkokerroksen sisäistä dataa (ICMP, reititysprotokolla)
- Otsakkeen tarkistussumma (Header checksum)
 - Vain otsakkeelle (Internet checksum)
 - Tarkista ja laske uusi joka reitittimessä (TTL, Options)
 - Hylkää virheellinen paketti
- Osoitteet (Source IP Address, Destination IP Address)
 - Lähteen ja kohteen IP-osoitteet
- Optiot (Options)
 - Laajennuksia: mm. lähdereititys, harvoin käytetty



IP-otsakkeen tarkistussumma

Miksi tarkistussumma IP-otsakkeelle?



Miksi vain otsakkeelle?

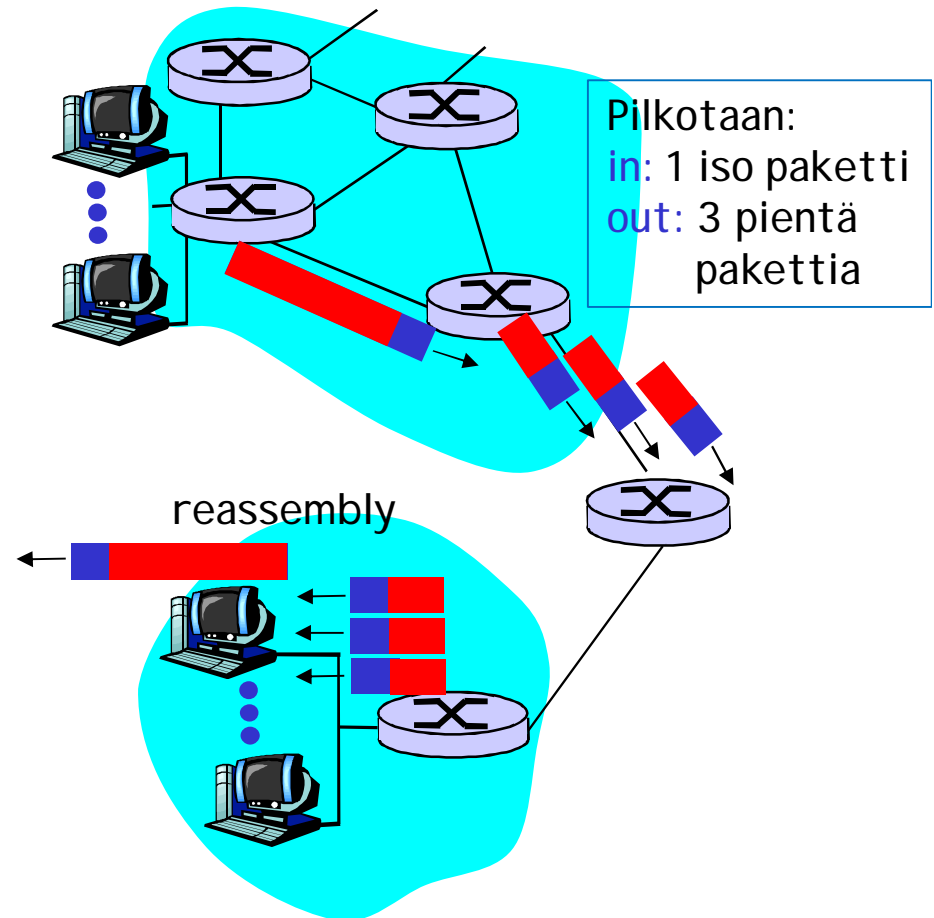
TCP:llä ja UDP:llä omat tarkistussummat.



IP-pakettien paloittelu (fragmentointi)

Fig 4.14 [KR12]

- Maximum transfer Unit (MTU)
 - suurin mahdollinen IP-paketti eri linkeillä eri kokoinen, esim. Ethernet 1500 B
- *Reititin pilkkoo tarvittaessa* liian ison paketin pienemmiksi paketeiksi (fragmenteiksi)
 - paketit voivat kukin kulkea eri reittiä
- *Kohdekone kokoaa yhdeksi*
 - IP-otsakkeessa kentät yhteenkuuluvien fragmenttien tunnistamiseksi
- IPv6 ei käytä fragmentointia





Esimerkki: IP-paketin paloittelu (ei enää IPv6:ssa)

length =4000	ID =x	fragflag =0	offset =0
-----------------	----------	----------------	--------------

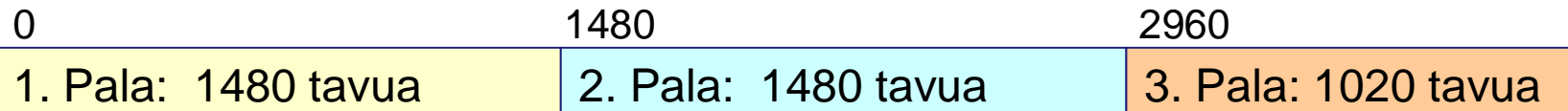
4000 tavun IP-paketti:
dataa 3980 B
MTU 1500 B

Yhdestä IP-paketista tulee
3 pienempää IP-pakettia

1480 B dataa
20 B IP-otsaketta

offset = 1480/8
(8 tavun monikertoja)

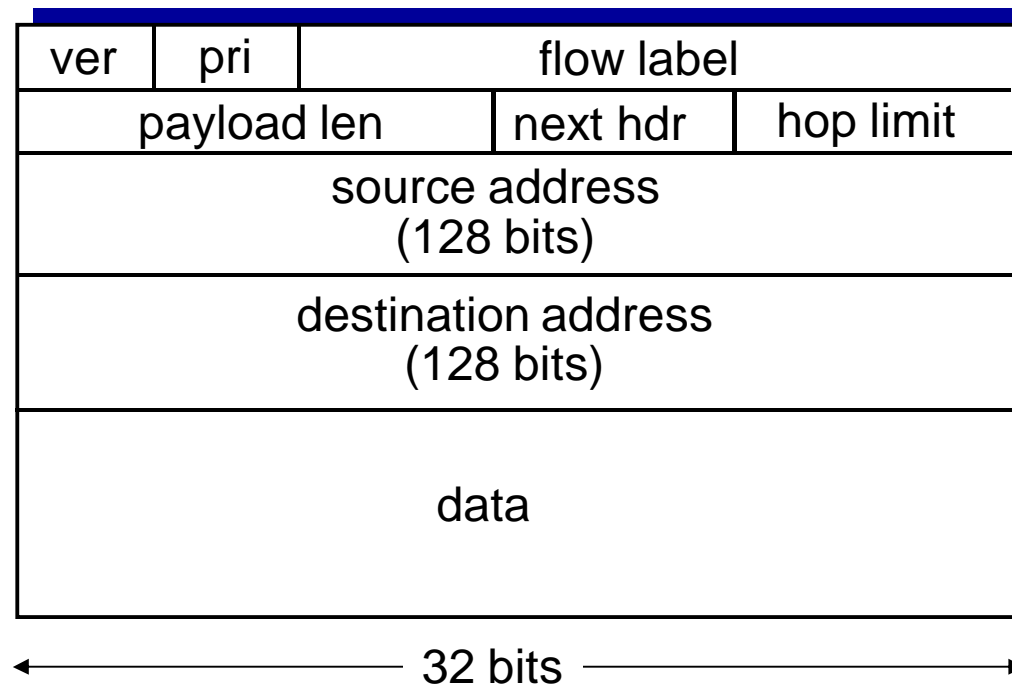
length =1500	ID =x	fragflag =1	offset =0
length =1500	ID =x	fragflag =1	offset =185
length =1040	ID =x	fragflag =0	offset =370





IPv6 paketti (engl. Datagram)

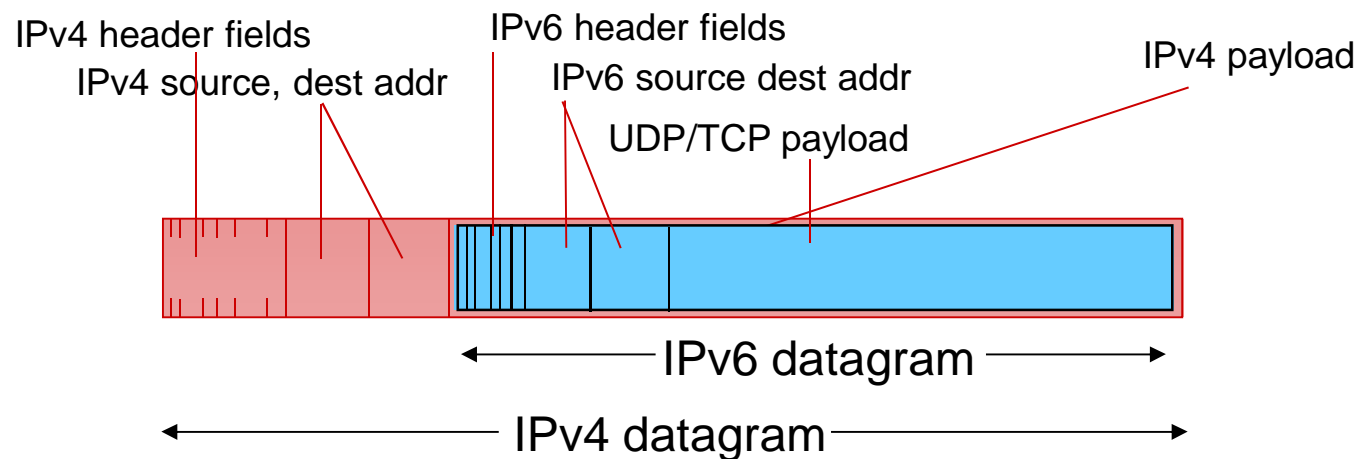
- 128-bittiset osoitteet
- yksinkertainen otsake -> nopea käsittely reitittimissä
- Prioriteetti - luokittelu
- Vuo (flow)
- Ei paloittelua matkalla
 - 'Packet too big' ICMP virheviesti
- Ei tarkistussummaa





Siirtymä IPv4:stä IPv6:een

- Kaikkea ei voi päivittää kerralla
 - Käytetään sekaisin uusia ja vanhoja reitittimiä
- tunnelointi:** IPv6-paketti IPv4-paketin datana, kun siirretään IPv4-reitittimien välillä (tai päinvastoin)





Tunnelointi (tunneling)

logical view:



physical view:

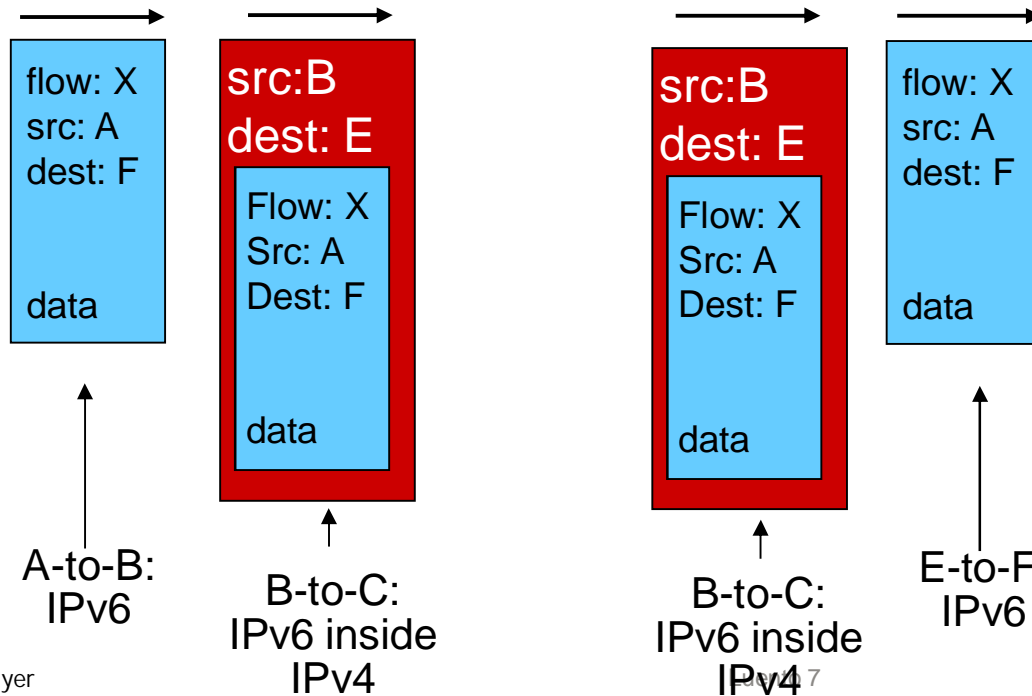
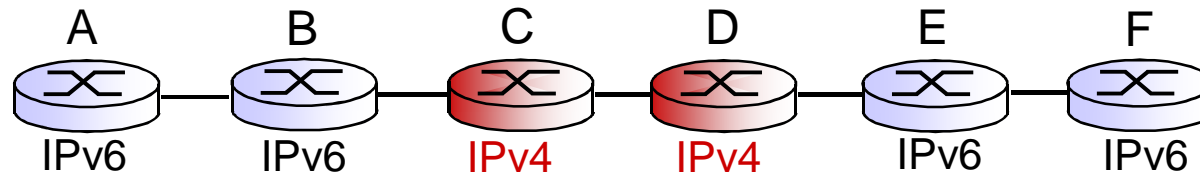


Fig 4.26 [KR12]



Luennoilta 6: TCP:n ruuhkanhallinta