

Johdanto Internetin reititykseen

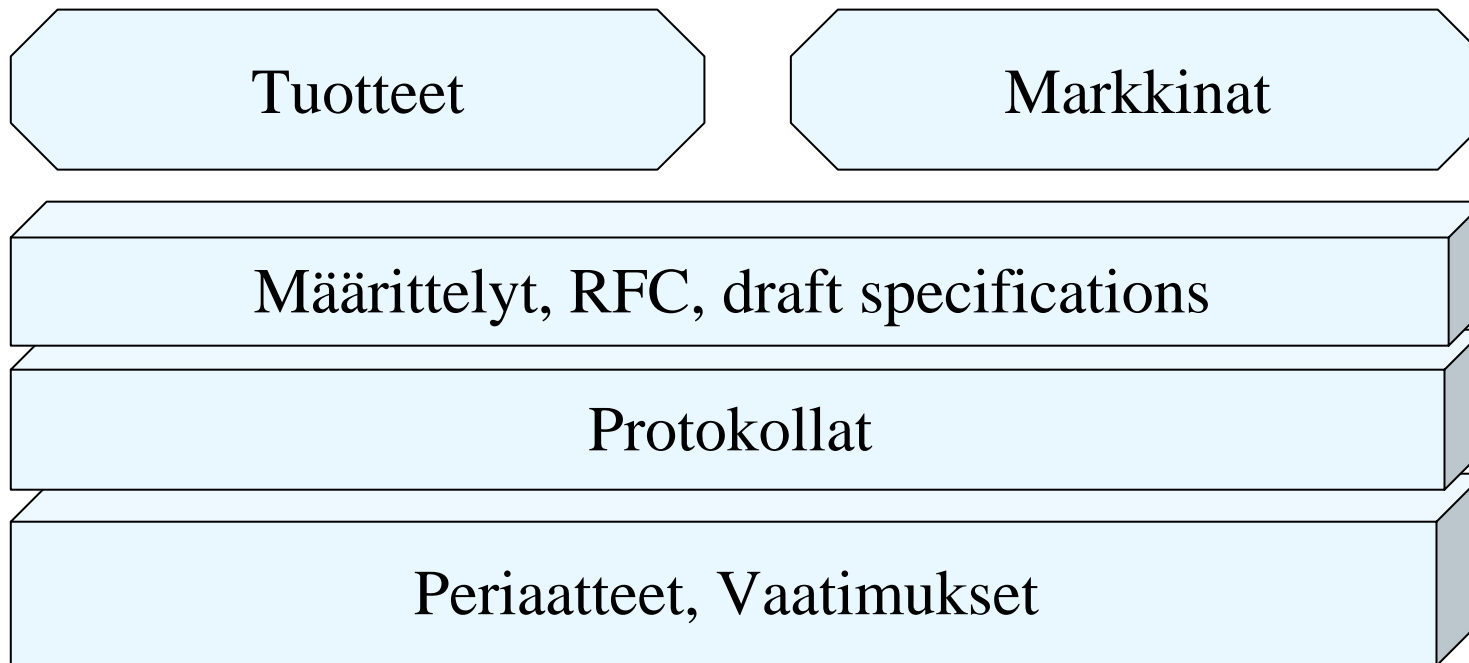
Internet architecture

IPv4, ICMP, ARP

Addressing, routing principles

(Luvut 2-3 Huiteman kirjassa)

Analyysin tasot



Internet Architecture Principles

End-to-end principle

by Dave Clark

- All control in end stations
 - e.g. error and flow control
- The network can not be trusted
- User must in any case check for errors
 - network control redundant
- Error checking and flow control by TCP
- No state information/connection in the network
 - packets routed independently
 - if a link fails, another route is used
- Same principle as in distributed systems

Internet Architecture Principles

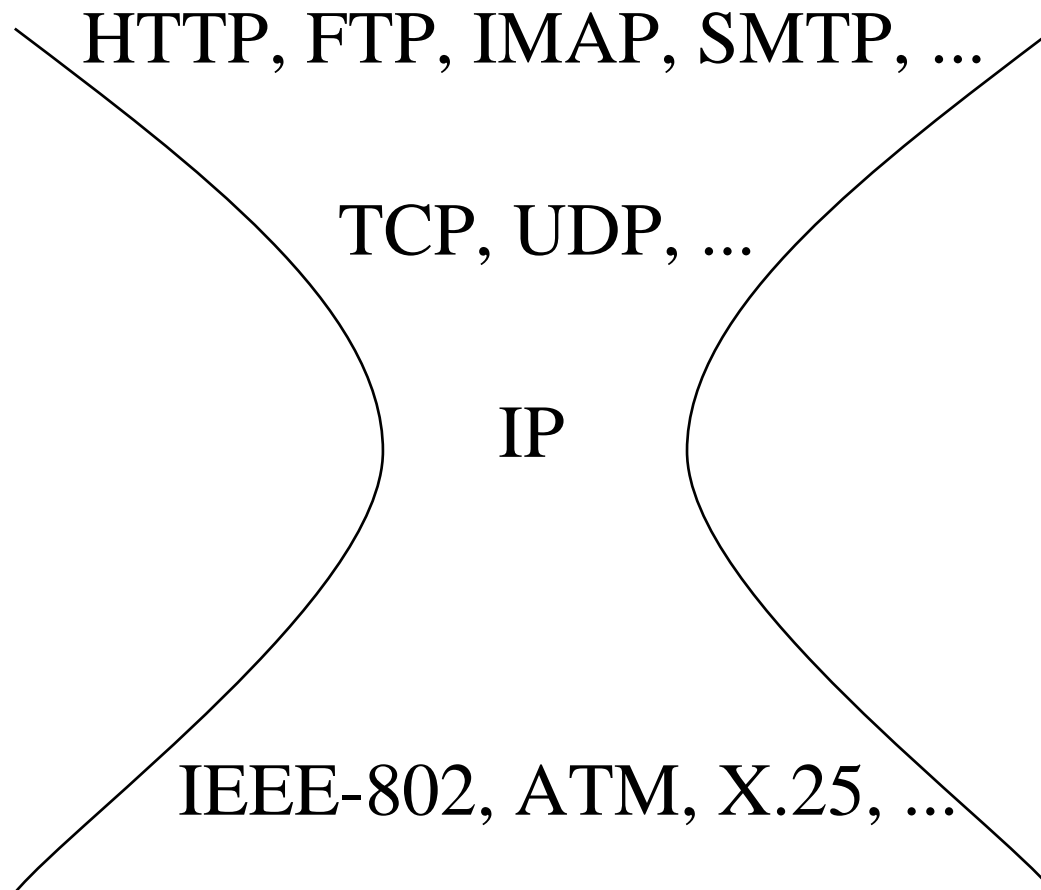
IP over everything

by Winston Cerf

- Alternative: Interconnection based on *translation*
 - Never perfect
- IP: Interconnection based on *overlay* over all kinds of networks
 - simple to adapt to new technologies
 - Define framing or encapsulation
 - Define address resolution: IP-address → network address
 - unique IP-address
- Translation still needed in many cases
 - E.g. signaling interworking, IPv4 to IPv6 mapping

Internet Architecture Principles

IP over everything

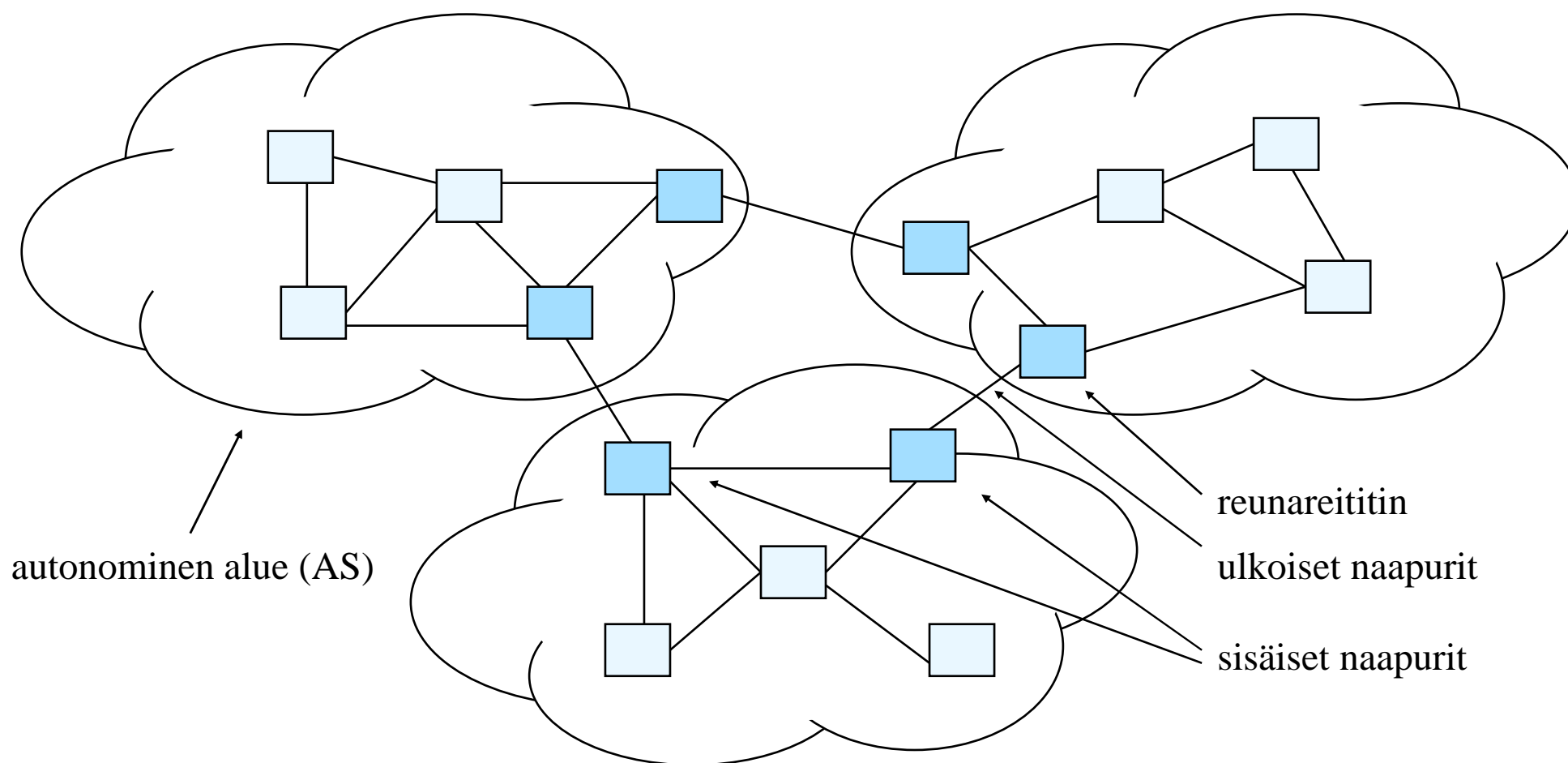


Internet Architecture Principles

Connectivity is its own reward

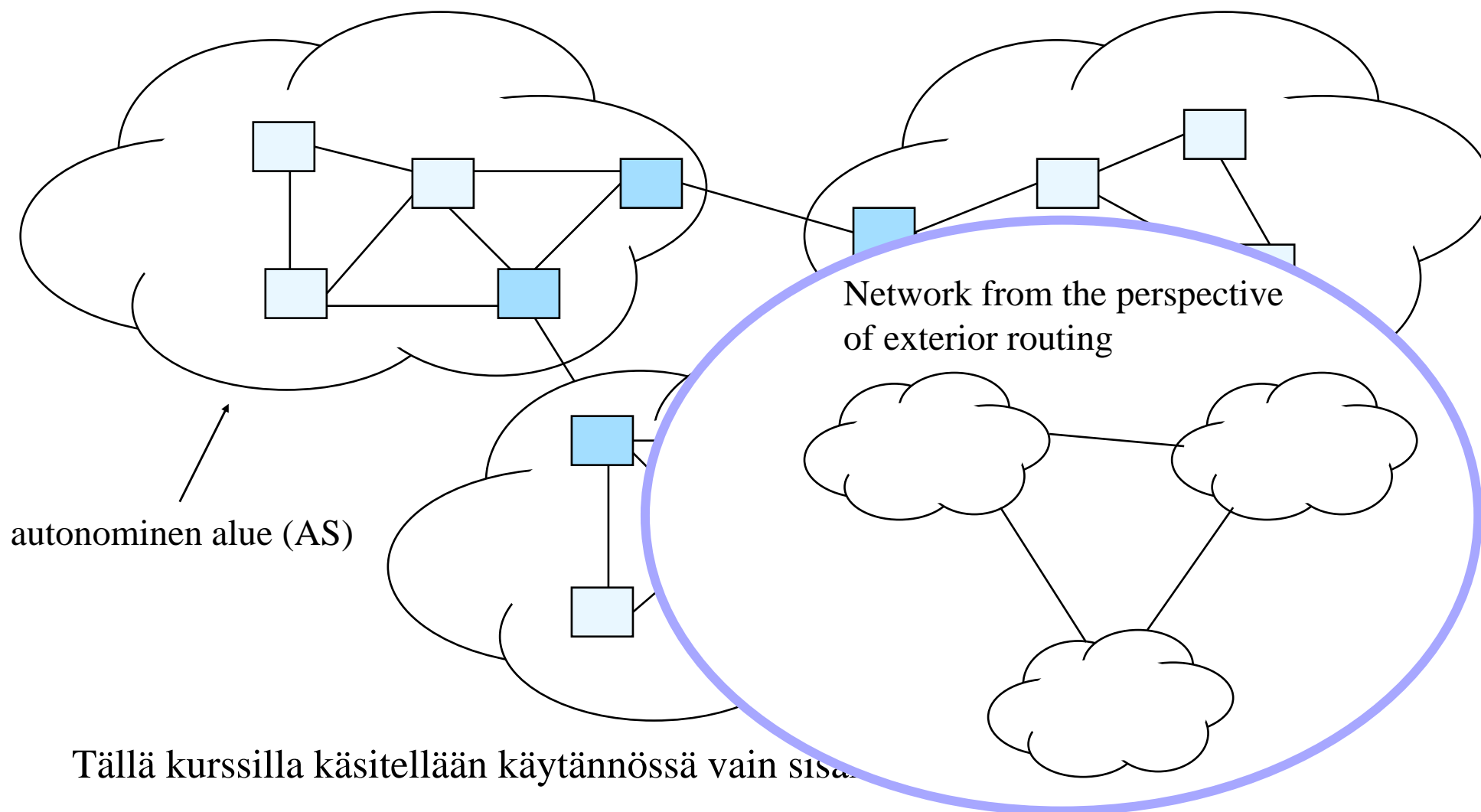
- The value of a network increases in proportion to the square of the number of nodes on the network (Robert Metcalfe's law)
- Be liberal with what you receive, conservative with what you send
 - try to make your best to understand what you receive
 - maximum adherence to standard when sending
- Snowballing effect keeps all interested in connectivity thus keeps adhering to standards

Reititys jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen



Tällä kurssilla käsitellään käytännössä vain sisäistä reititystä.

Reititys jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen



Tällä kurssilla käsitellään käytännössä vain sisä-

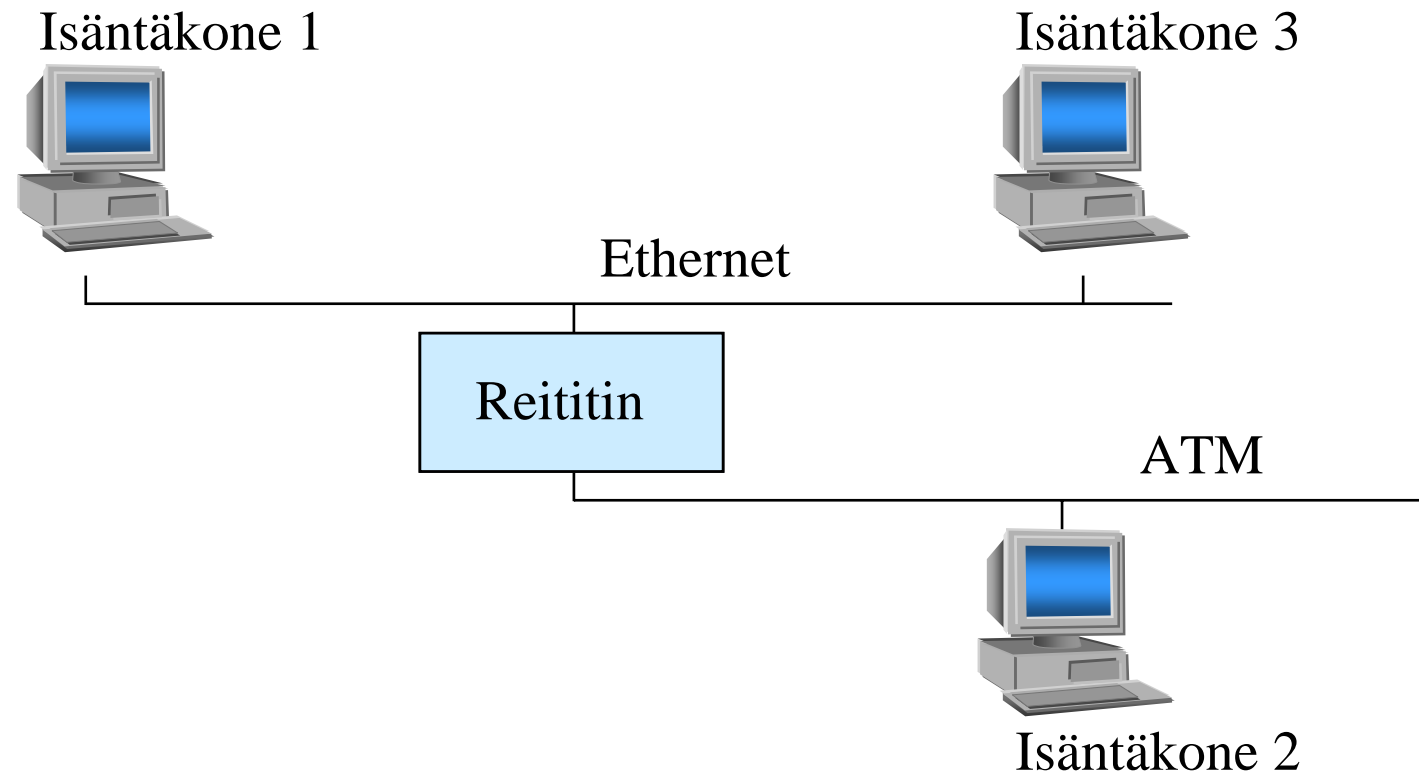
Reititys jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen

- **Autonominen alue** (Autonomous System, AS)
 - Joukko verkkoja, joilla on yhteinen reititysstrategia, ja joita hallinnoi yksi organisaatio
- **Reunareititin** (Border router)
 - Vähintään yksi naapuri kuuluu eri autonomiseen alueeseen

Reititys jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen

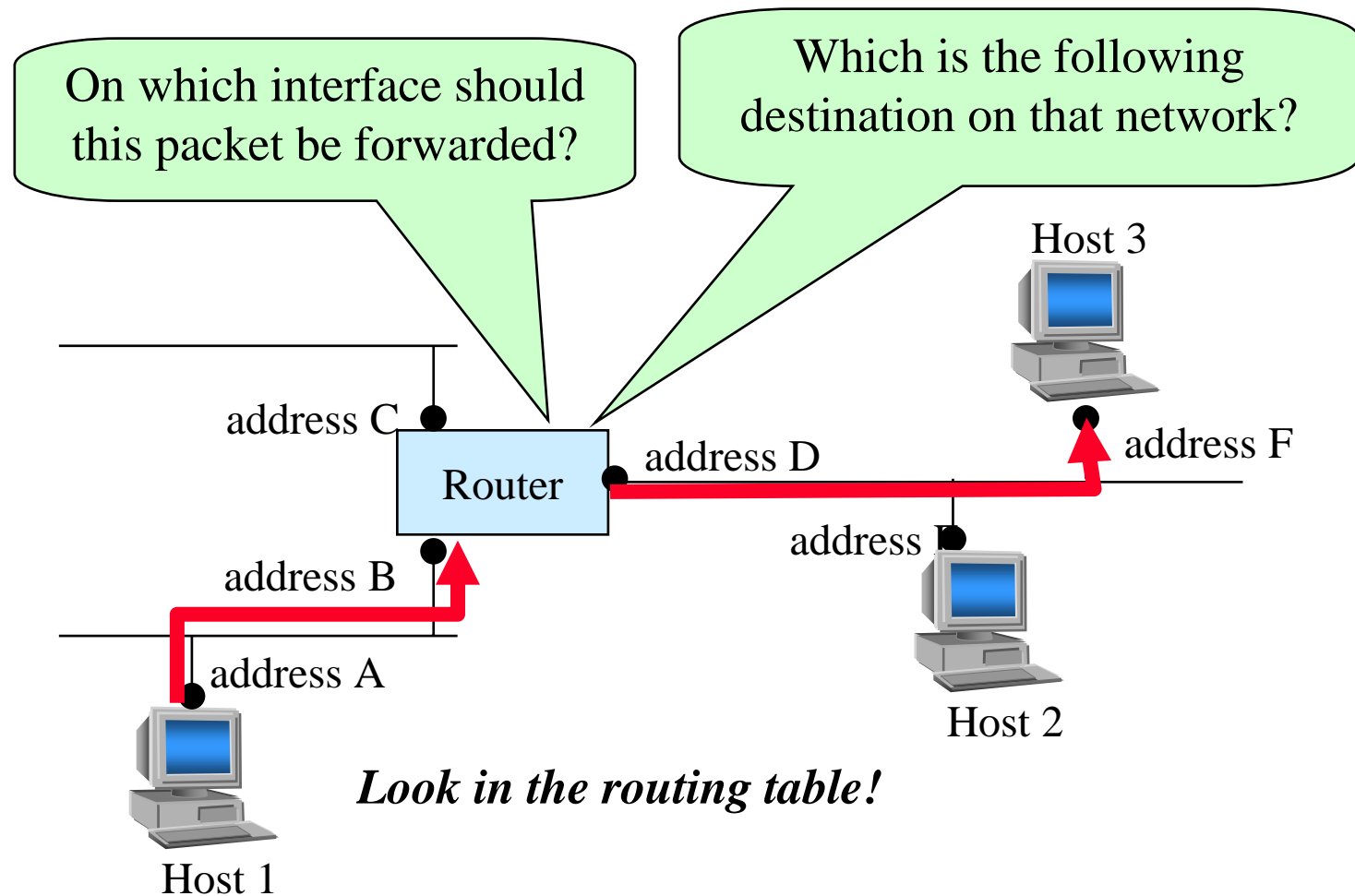
- Sisäisiä reititysprotokollia
 - **Routing Information Protocol (RIP), RIP-2**
 - **Open Shortest Path First (OSPF)**
 - Interior Gateway Routing Protocol (IGRP), EIGRP
 - Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS)
- Ulkoisia reititysprotokollia
 - External Gateway Protocol (EGP)
 - **Border Gateway Protocol version 4 (BGP-4)**

Yhdistämällä Ethernet segmentit reitittimellä segmenttien liikenteet pystytään erottamaan



Host 2 does not receive packets sent by Host 1 to other hosts on Ethernet 1

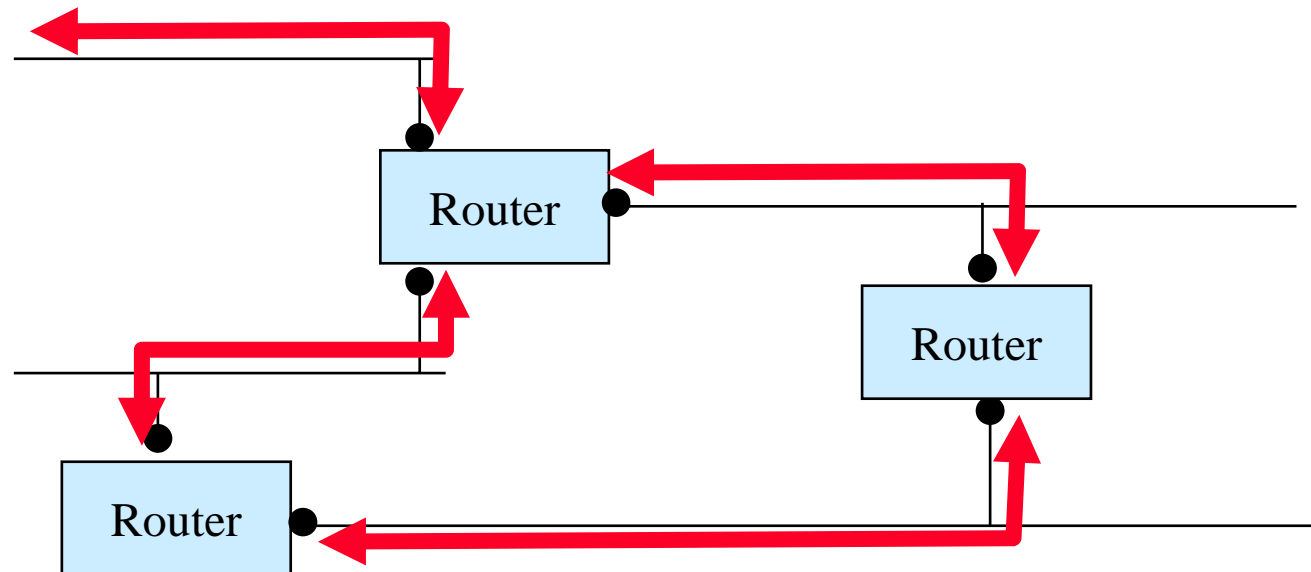
Two functions of a router: 1. Packet forwarding



Two functions of a router:

2. Construction and maintenance of the routing table

- Routers exchange routing information with routing protocols (e.g. RIP, OSPF, BGP)



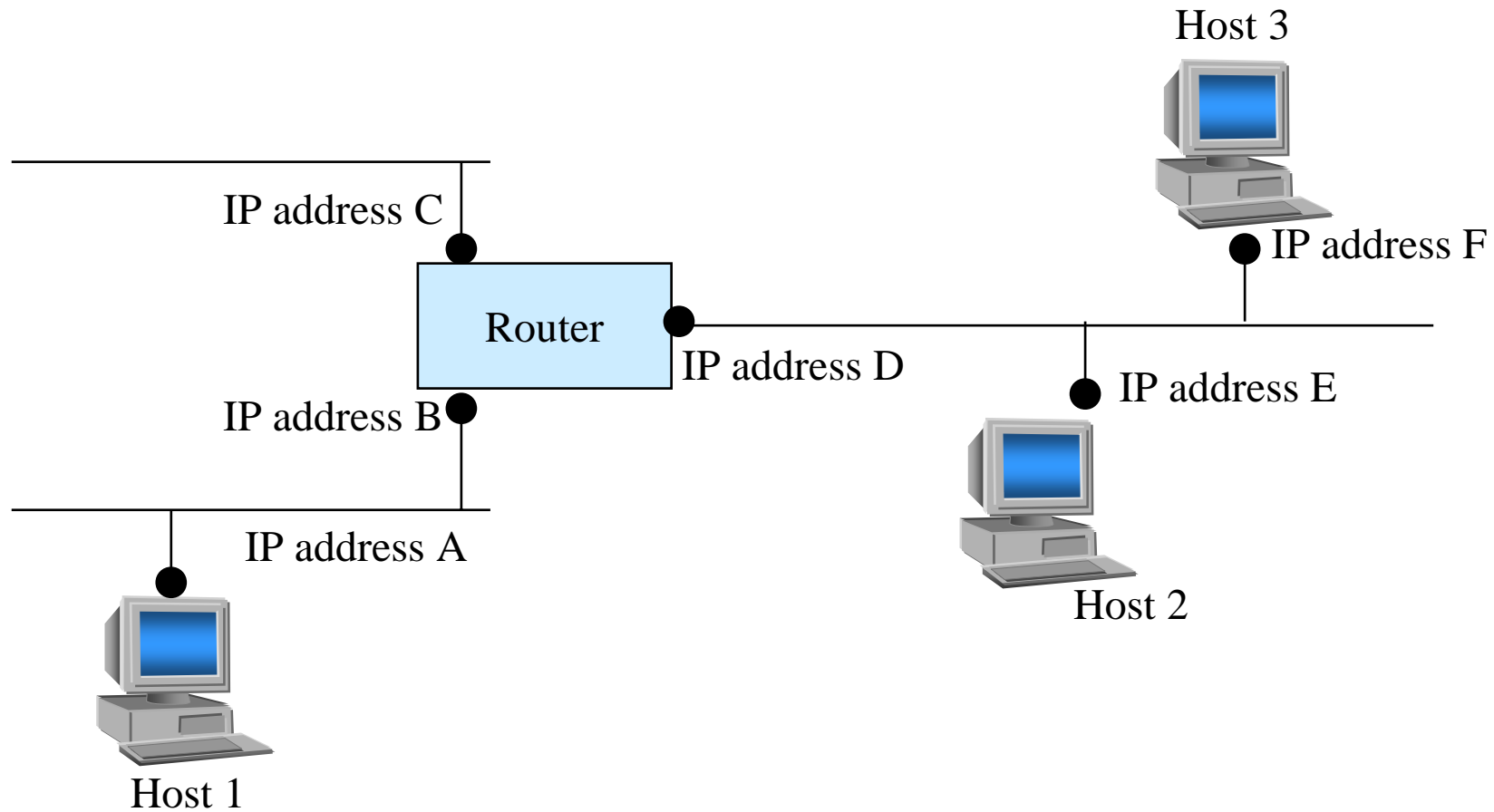
Internetin reititys perustuu reititysprotokolliin, joilla kerätään lähtötiedot

- Internetiin ei liity off-line reitityssuunnittelua
- Ainoastaan **mitoitus** tehdään off-line
- Itse reititys toimii kokonaan automaattisesti
- Reitittimet kommunikoivat keskenään **reititysprotokollan** avulla
- **Reititysalgoritmi** hakee lyhimmän (halvimman) reitin jokaiseen kohteeseen

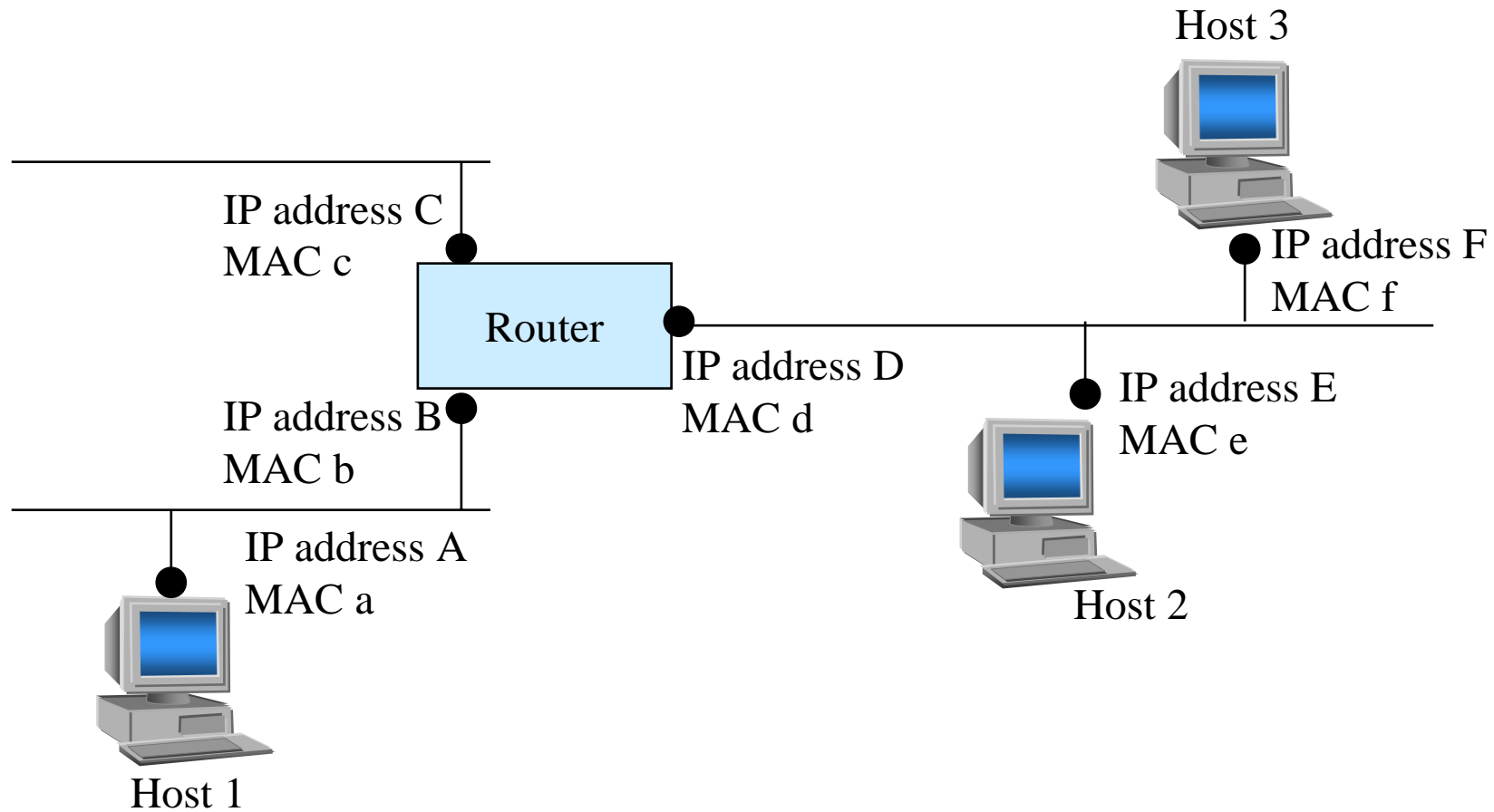
Internetin reititys on yleensä dynaamista. Staattista reititystä käytetään tietyissä tapauksissa.

- **Dynaaminen reititys** perustuu protokolliin, jotka luovat ja ylläpitävät reititystauluja automaattisesti
 - Esimerkkiprotokollia: RIP, OSPF, BGP...
 - Esim. organisaation kytkentä Internetiin useilla linkeillä
- **Staattinen reititys** perustuu käsin määriteltyihin reititystauluihin
 - Staattista reititystä käytetään esim. kun kaksi palveluntarjoajaa eivät luota toisiinsa
 - Organisaation kytkentä palveluntarjoajan verkkoon yhdellä ainoalla linkillä
 - Staattisten reittien ylläpito vaikeaa

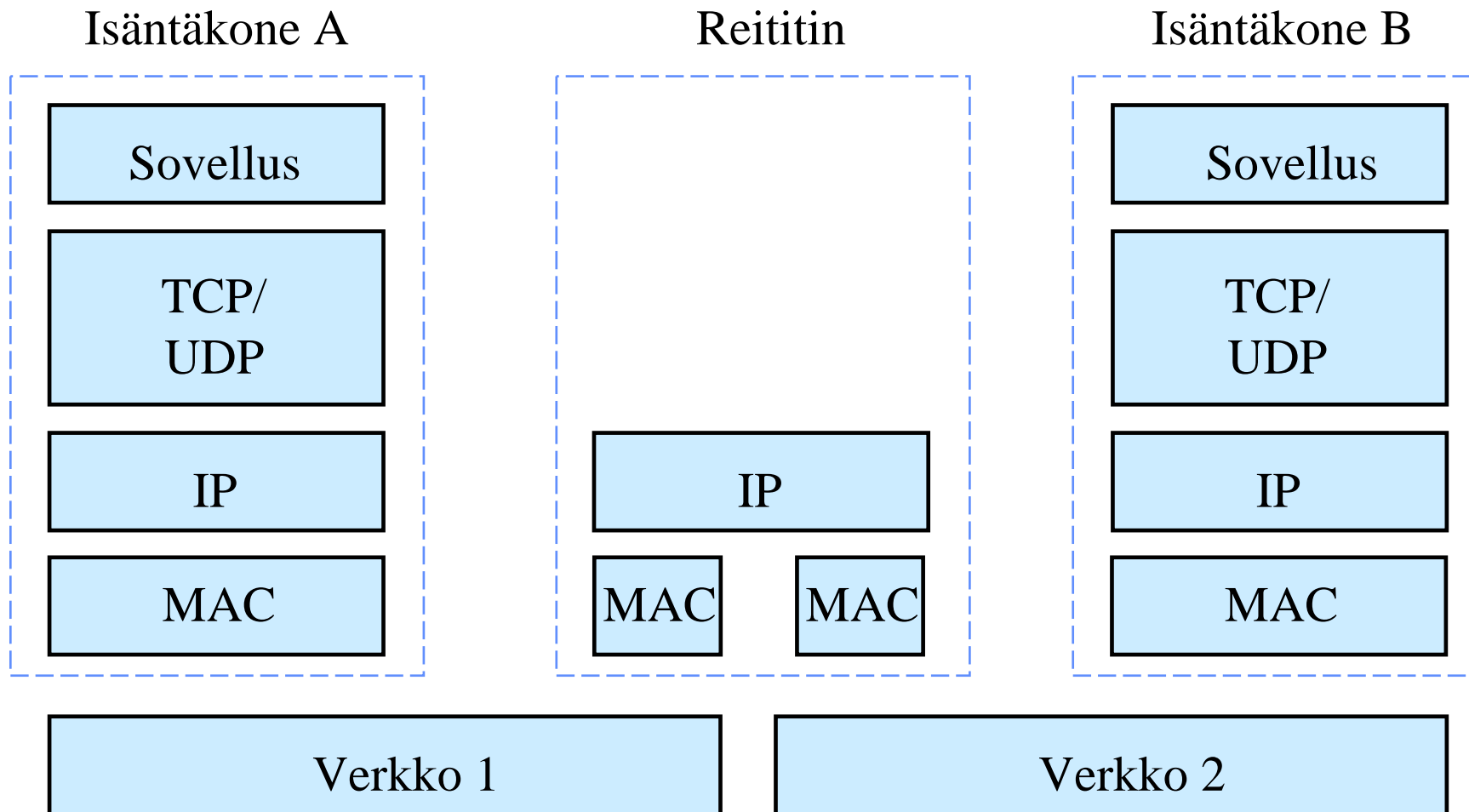
IP-osoite määrittelee rajapinnan (interface) (ei isäntäkonetta)



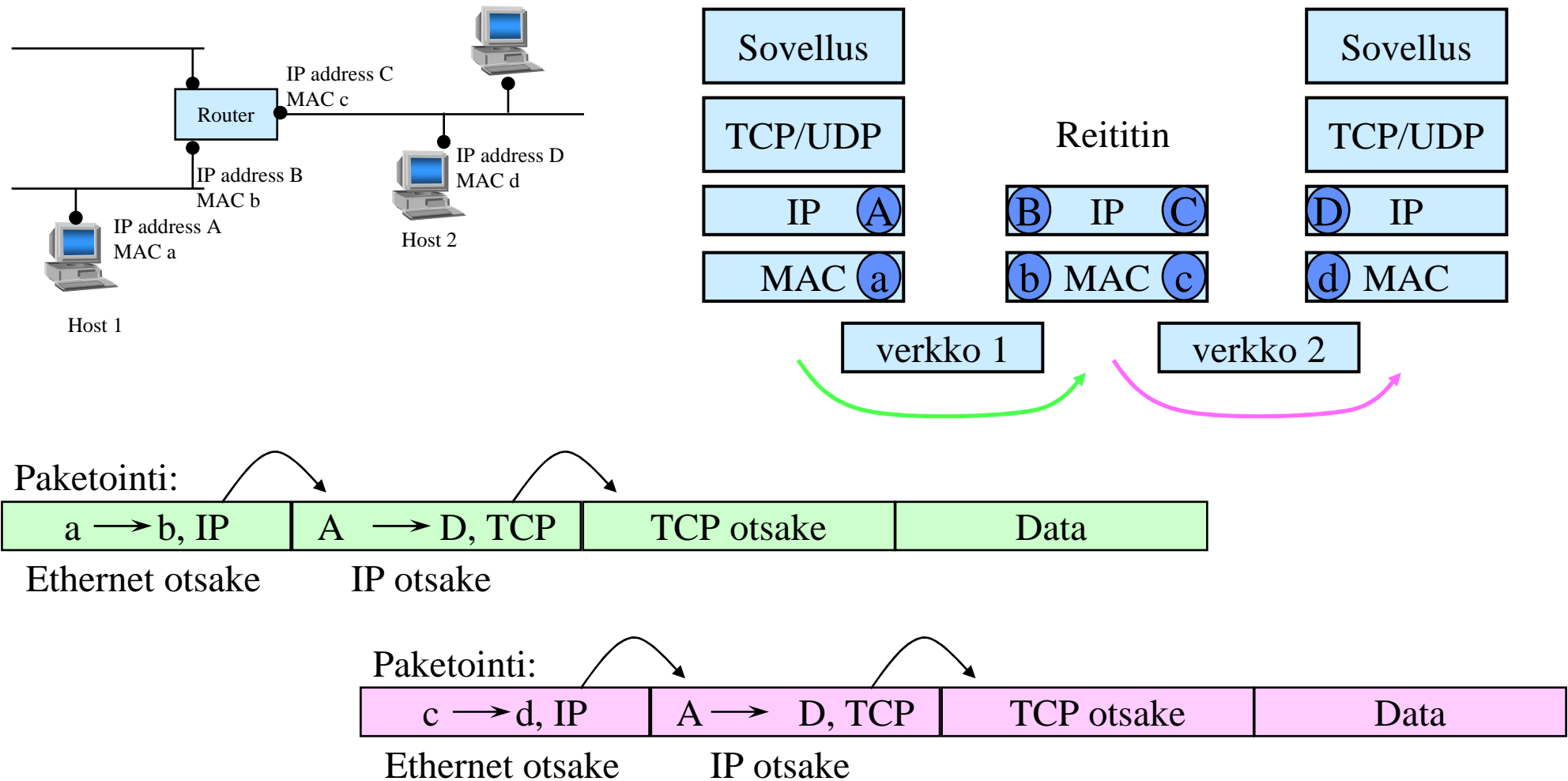
Jokaiseen rajapintaan liittyy myös MAC osoite



Internet kerrosmalli - isäntäkoneet ja reitittimet

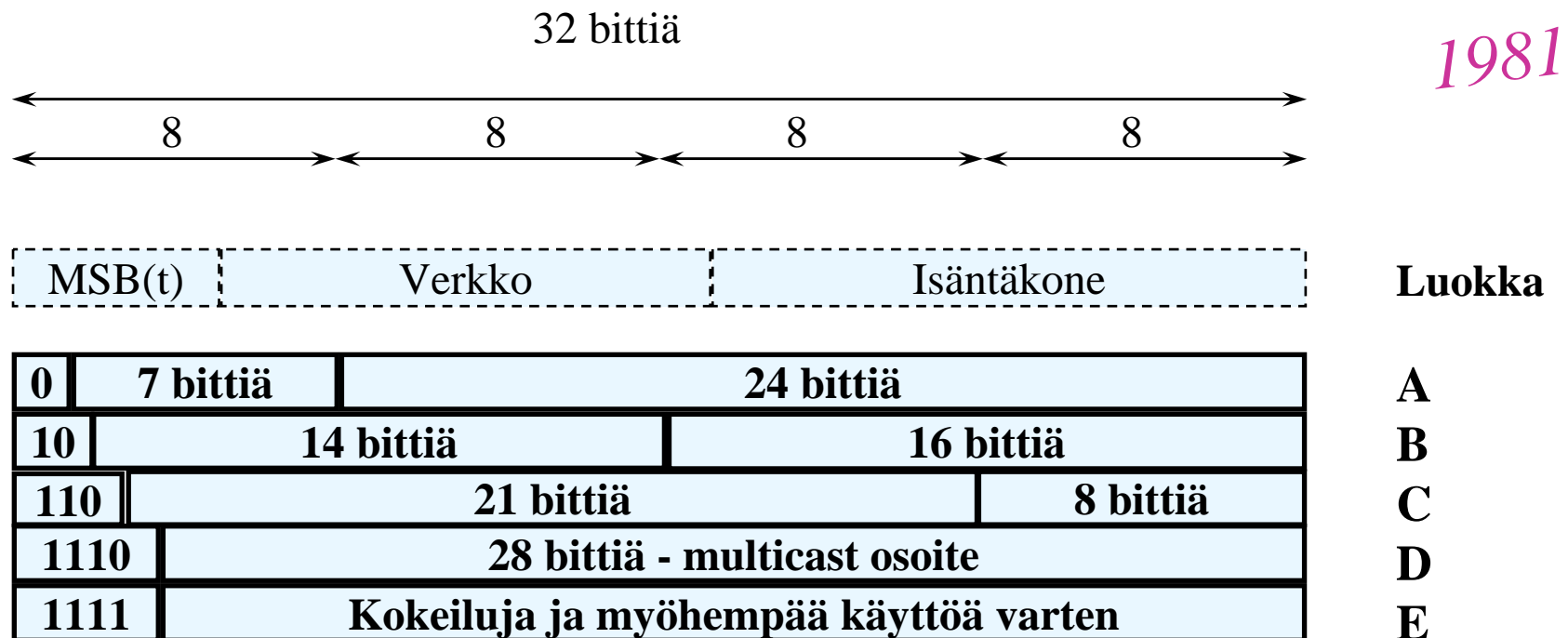


Internet kerrosmalli - sanomien välitys



IPv4 osoiteformaatit

- Alunperin kahden tason (verkko, isäntä) hierarkia:



IPv4 osoiteformaatit

1984

- Uusi taso helpottaa verkon ylläpitoa

Verkko	Aliverkko	Isäntäkone
--------	-----------	------------

- Esimerkkejä:

Maski (peite)	IP osoite	Verkko	Aliverkko	Isäntäkone
0xFFFF0000	10.27.32.100	A: 10	27	32.100
0xFFFFFE00	136.27.33.100	B: 136.27	16 (32)	1.100
	136.27.34.141	136.27	17(34)	0.141
0xFFFFFC0	193.27.32.197	C: 193.27.32	3(192)	5

High order bits:

0 ... 0 – 127 --> A-class

10... 128 – 191 --> B-class

110...192 – 223 --> C-class

Without right zeroes (and with right zeroes)

*Later updated by CIDR
(discussed later)*

IPv4 address formats

Example:

		Network	Subnet	Host	
Address:	10.38.154.117	00001010	001001	10 10011010 01110101	
Mask:	255.192.0.0	11111111	11111100	00000000 00000000	
Network:	first bit "0"	00001010			= 10
Subnet:	address* AND mask		001001		= 9 (36)
Host:	address AND NOT mask			10 10011010 01110101	= 2.154.117

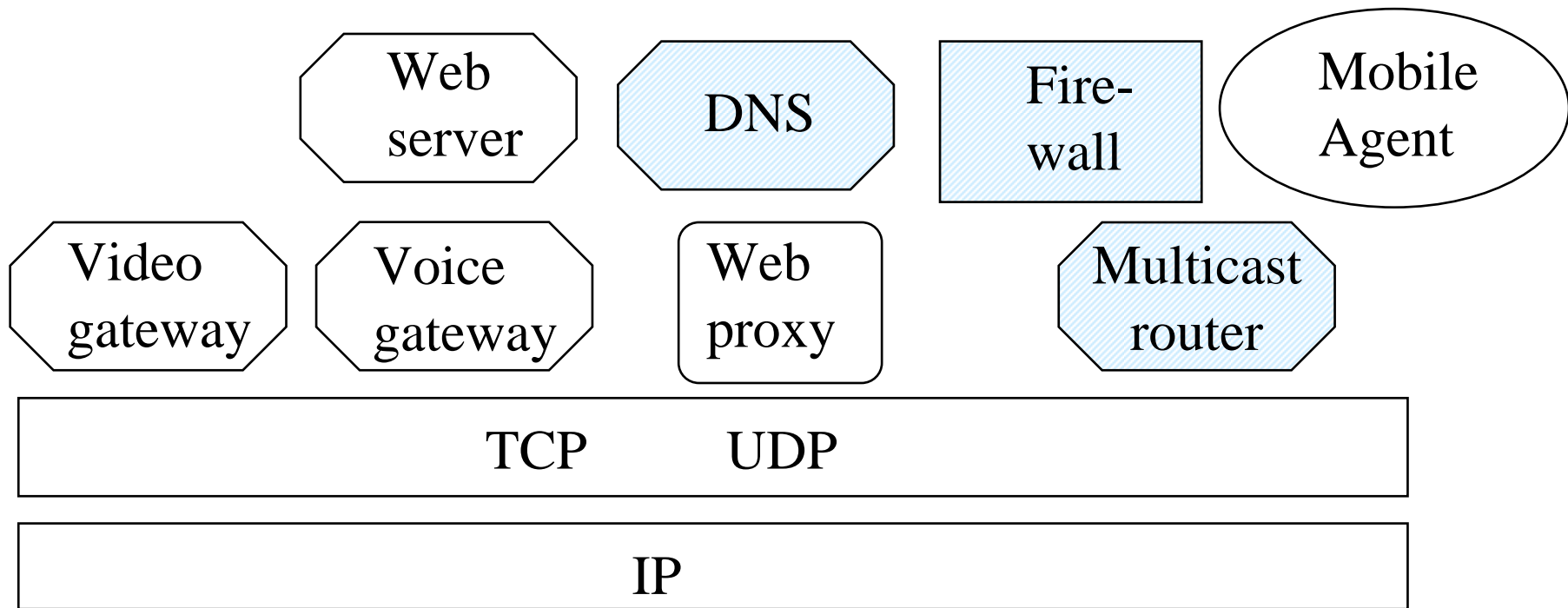
address = address with network part zeroed*

Also written as 10.38.154.117/14

Erikoisosoitteet

- Tuntematon verkko korvataan 0:lla
 - Vain lähdeosoitteena
 - 0.0.0.0 = ”tämä isäntäkone tässä verkossa”
 - 0.X.Y.Z = ”isäntäkone X.Y.Z tässä verkossa”
- Yleislähetysosoite 255.255.255.255
 - Kaikki isäntäkoneet paikallisessa verkossa
- Yleislähetysosoite A.255.255.255, B.B.255.255, C.C.C.255
 - Kaikki isäntäkoneet tietyssä verkossa
- Loopback-osoite 127.X.X.X (yleensä 127.0.0.1)
 - Sisäinen lähetys yhdessä isäntäkoneessa
- Multicast-osoitteet
 - esim. 224.0.0.2 = kaikki tämän aliverkon reitittimet

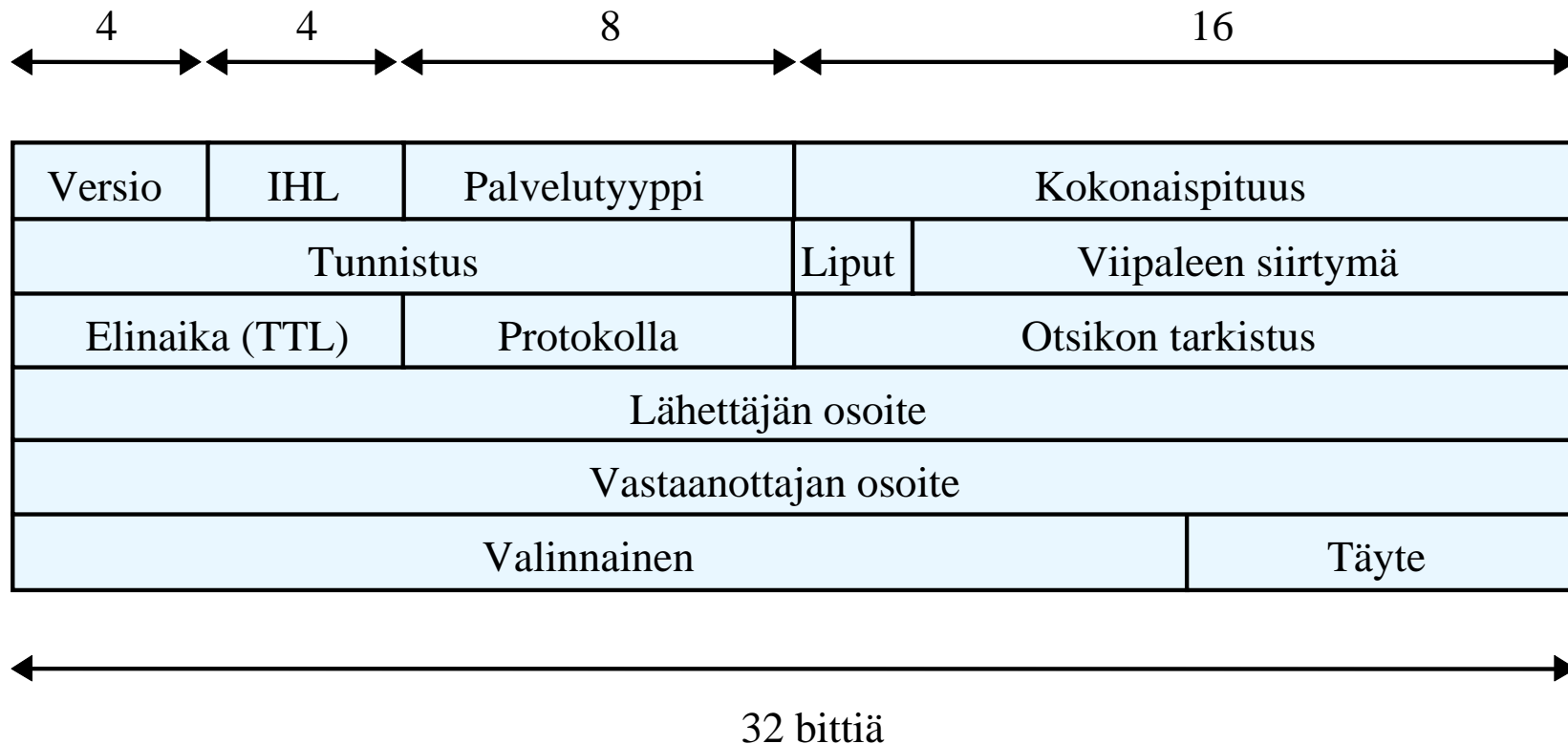
Internet arkkitehtuuri sisältää nykyään joukon TCP/IP:n päällä olevia palvelutason komponentteja



Tässä kurssissa puututaan yo komponentteihin vain sikäli kuin ne liittyvät reititykseen.

IP paketin otsikko

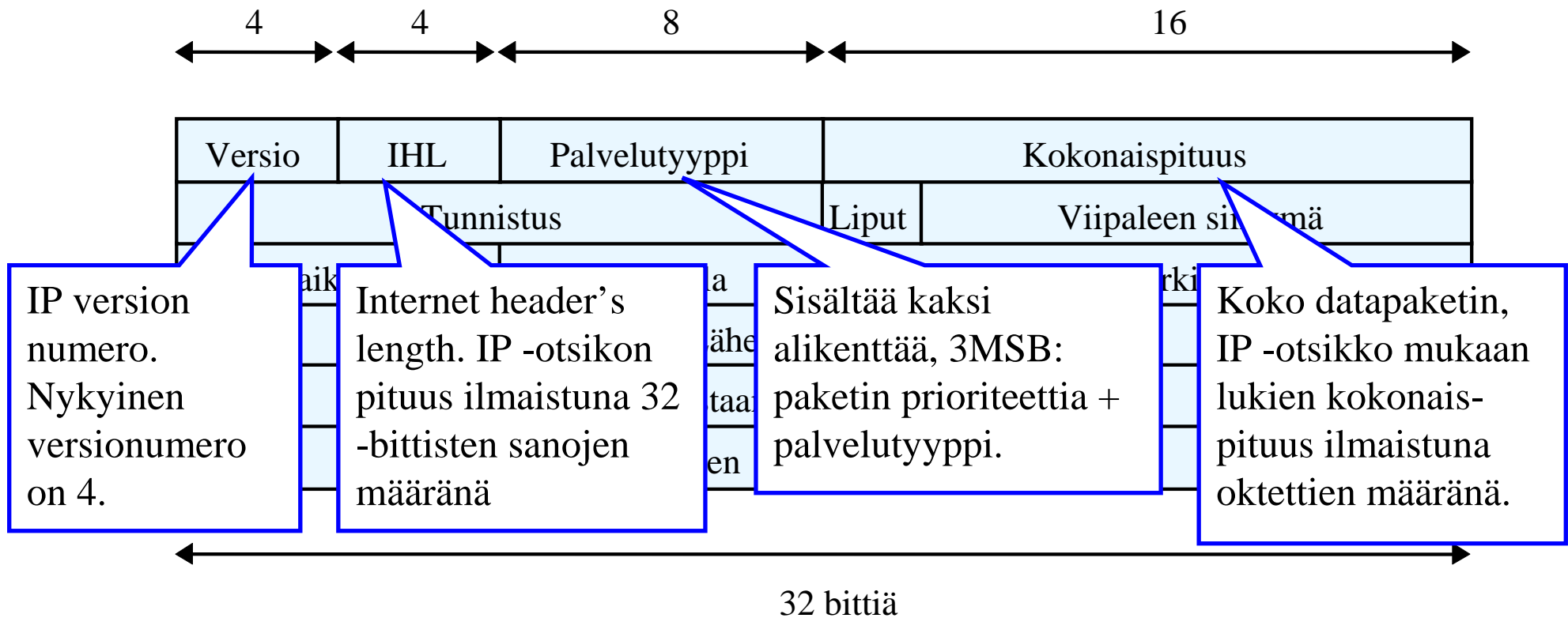
RFC-791



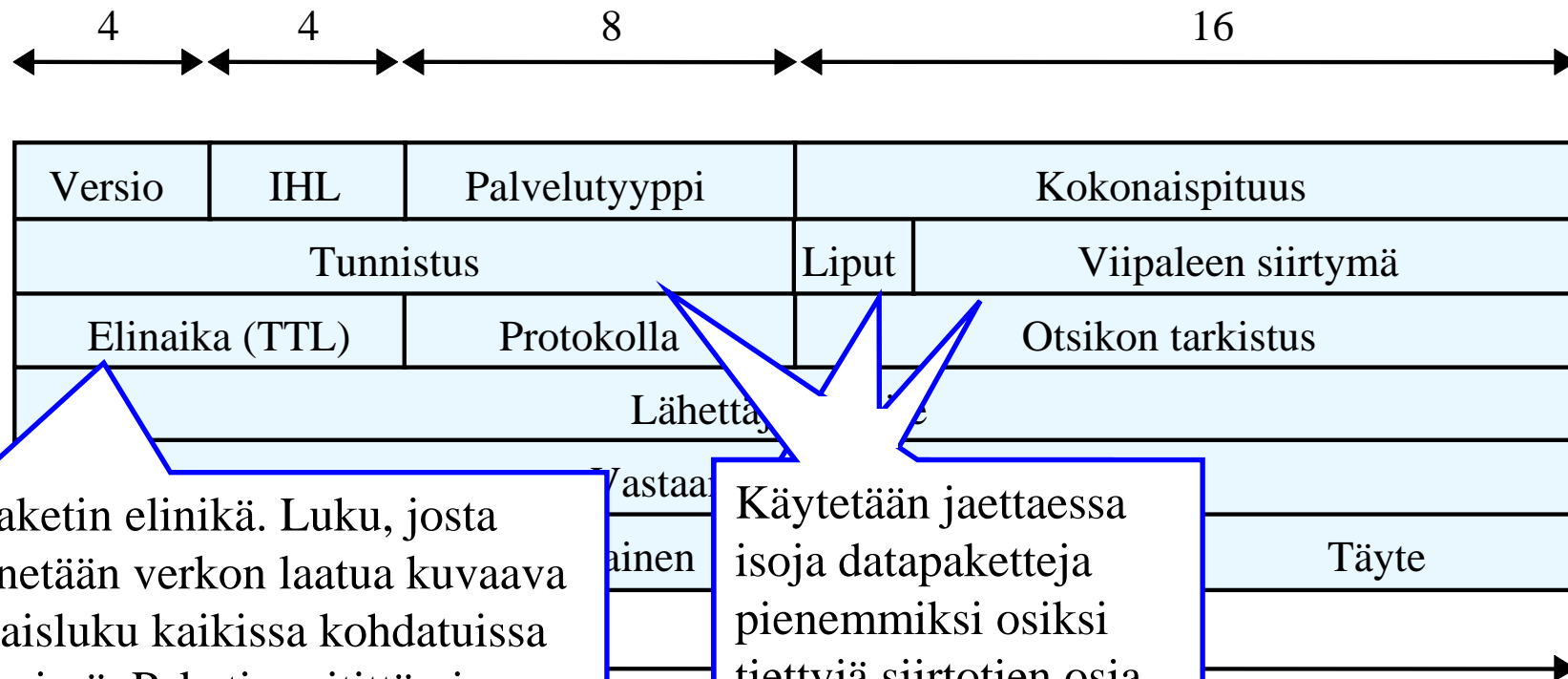
Oletus: Lähettäjä tietää oman osoitteensa

jos ei: itsekonfigurointi (RARP, BOOTP, DHCP - dynamic host conf. protocol)

IP paketin otsikko



IP paketin otsikko



IP paketin otsikko

Protokolla, jolla vastaanottavan koneen tulee käsitellä datapaketti. Esim. TCP, UDP tai ICMP.

8

Otsikon tarkistussumma, lasketaan 16 bittisenä yhden komplementtina

Palvelutyyppi

Tunnus

Lippu

Viipaleen siirtymä

Elinaika (TTL)

Protokolla

Otsikon tarkistus

Lähettäjän osoite

Vastaanottajan osoite

Valinnainen

Täyte

Paketin lähettäneen isäntäkoneen osoite

Sen isäntäkoneen osoite, jolle paketti on lähetetty.

32 bittiä

Käytetään erityisinformaation lähettämiseen. Yksittäiset paketit voivat sisältää useita optiokenttiä.

IP paketin otsikon reitityksen kannalta tärkeät tiedot ovat kohdeosoite ja TTL

Versio	IHL	<i>Palvelun tyyppi</i>	Kokonaispituus	
Tunnistus			Liput	Viipaleen siirtymä
<i>TTL - elinaika</i>	Protokolla		Otsakkeen tarkistussumma	
<i>Lähdeosoite</i>				
<i>Kohdeosoite</i>				
Optiot				Täytebitit

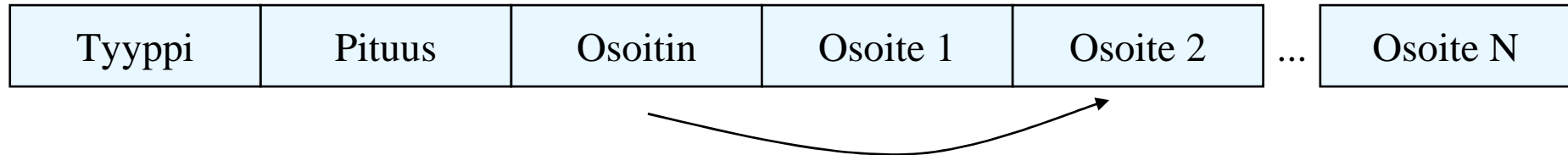
- TTL muuttuu → uusi tarkistussumma
- Optiot (m.m. lähdereititys, aikaleima)
 - käytetään harvoin/ei koskaan.

Palvelun tyyppi

Prioriteetti	D	T	R	C	
--------------	---	---	---	---	--

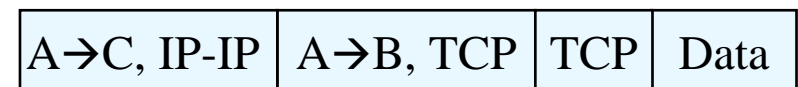
- Reitin valintakriteeri
 - D - viiveen minimointi
 - T - siirtokapasiteetin maksimointi
 - R - luotettavuuden maksimointi
 - C - kustannusten minimointi
 - Vain yksi valintakriteeri kerralla sallittu
- Prioriteetti
 - Suurin arvo otetaan jonosta ensin reititettäväksi
- Käytännössä näitä ei yleensä käytetä
- DiffServ käyttää kenttää eri tavalla

Lähdereititys



- Toteutetaan ”source routing” optiolla
 - **Loose source routing** (tyyppi 131)
 - Paketti lähetetään listan seuraavaan osoitteeseen normaalilla reitityksellä.
 - **Strict source routing** (tyyppi 137)
 - Paketti lähetetään listan seuraavaan osoitteeseen. Jos siihen ei löydy suoraa linkkiä, paketti tuhoetaan.

- Hidas → Käytetään harvoin
 - Korvataan usein **paketoinnilla**:



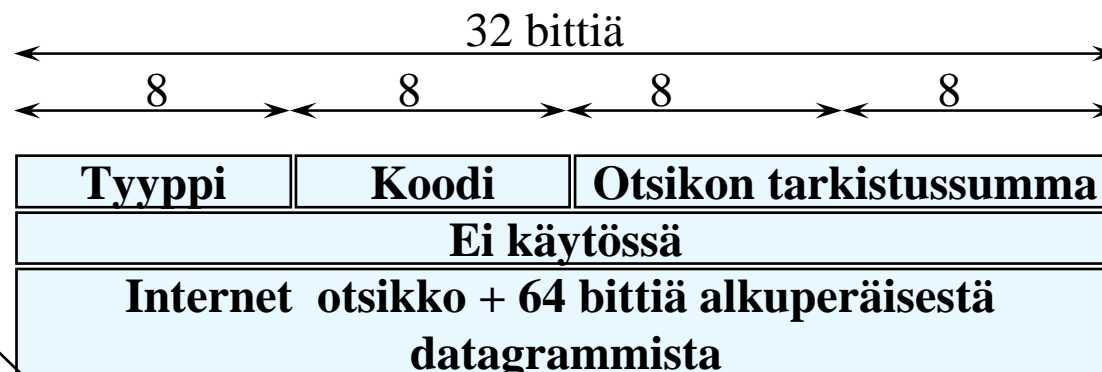
ICMP - Internet Control Message Protocol

- ICMP antaa lähettäjälle palautetta verkon toiminnasta
- ICMP paketti lähetetään takaisinpäin, jos esim.
 - vastaanottajaa ei tavoiteta
 - reititin tuhoaa paketin
 - elinaika loppuu (TTL = 0)
- Kaikkien koneiden ja reitittimien täytyy tukea ICMP:tä
- Kuljetetaan IP paketeissa
- Jos ICMP viesti tuhotaan, ei generoida uutta ICMP-viestiä (jottei tule “lumivyöryä“)

ICMP viestejä

Tyyppi =

- 0 - Kaikuvastaus
 - 3 - *Kohde saavuttamaton*
 - 4 - ~~Hiljennä tahtiä~~ (poistettu)
 - 5 - *Uudelleenohjaus*
 - 8 - Kaiku
 - 9 - *Reititin mainos*
 - 10 - *Reititin mainoksen pyyntö*
 - 11 - *Elinaika loppui*
 - 12 - Parametriongelma
 - 13 - Aikaleima
 - 14 - Aikaleimavastaus
 - 15 - Informaatiopyyntö
 - 16 - Informaatiovastaus
- (4 - Source quench poistettu suosituksista)

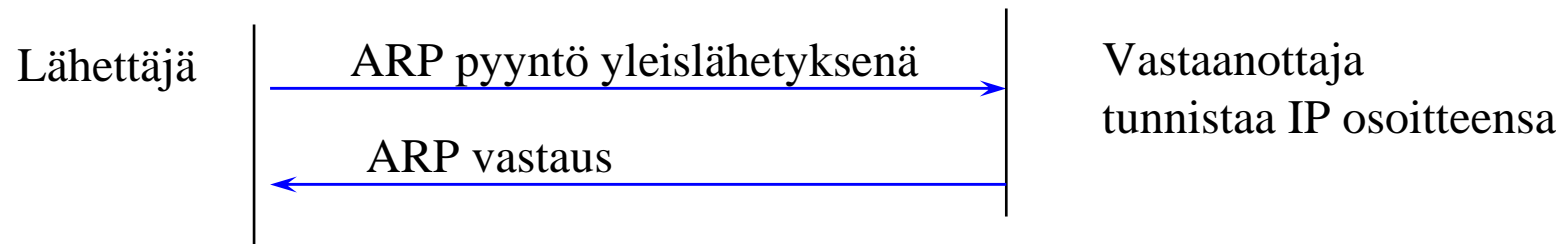


Koodi =

- 0 - verkko saavuttamaton
- 1 - isäntäkone saavuttamaton
- 2 - protokolla saavuttamaton
- 3 - portti saavuttamaton
- 4 - sanoma paloitetava
- 5 - lähdereitti viallinen

Paketin lähetys

- Lähettäjä tutkii onko kohdeosoite omassa aliverkossa vertaamalla oman ja kohdeosoitteen maskattuja arvoja.
 - Jos sama, kohde on samassa aliverkossa.
 - Jos ei, viesti pitää lähettää reitittimelle.
- Etsitään kohteen (tai reitittimen) mediaosoite (MAC-osoite) ARP-protokollalla.



- Mediaosoite talletetaan käteismuistiin.
 - Huom: Kaikki koneet samassa aliverkossa tallettavat käteismuistiin.

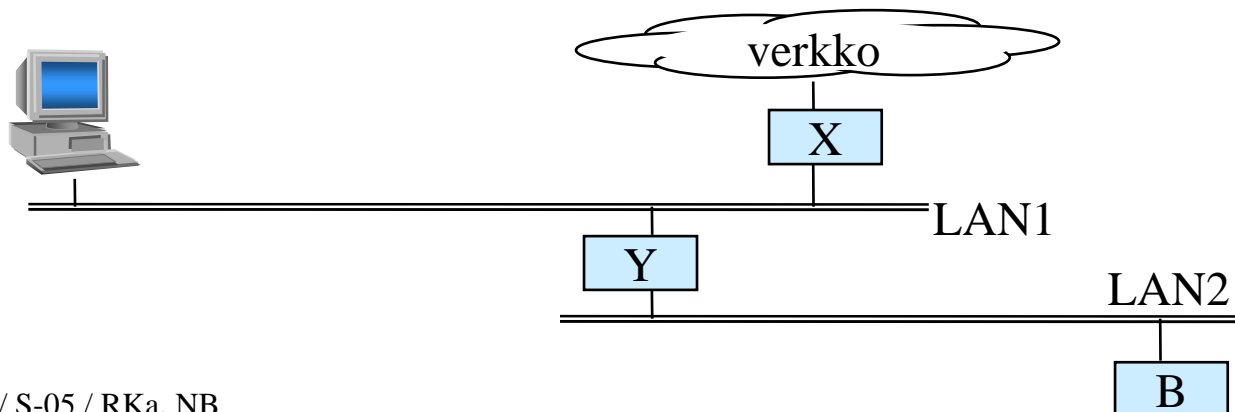
ARP – Address resolution protocol

- ARP sovittaa IP:n allaolevaan verkkoon
- IP-osoite → MAC-osoite
- Joka teknologia vaatii oman ARP sovituksen
 - Helppoa, jos teknologia tukee yleis- tai monilähetystä
 - Ethernet, Token Ring, FDDI
 - ATM:ssä tarvitaan ARP-palvelin
 - Käsien määritelty osoite
 - X.25, ISDN, Frame-Relay
- Toimii suoraan Ethernetin päällä (ei IP:n päällä)

RFC-826

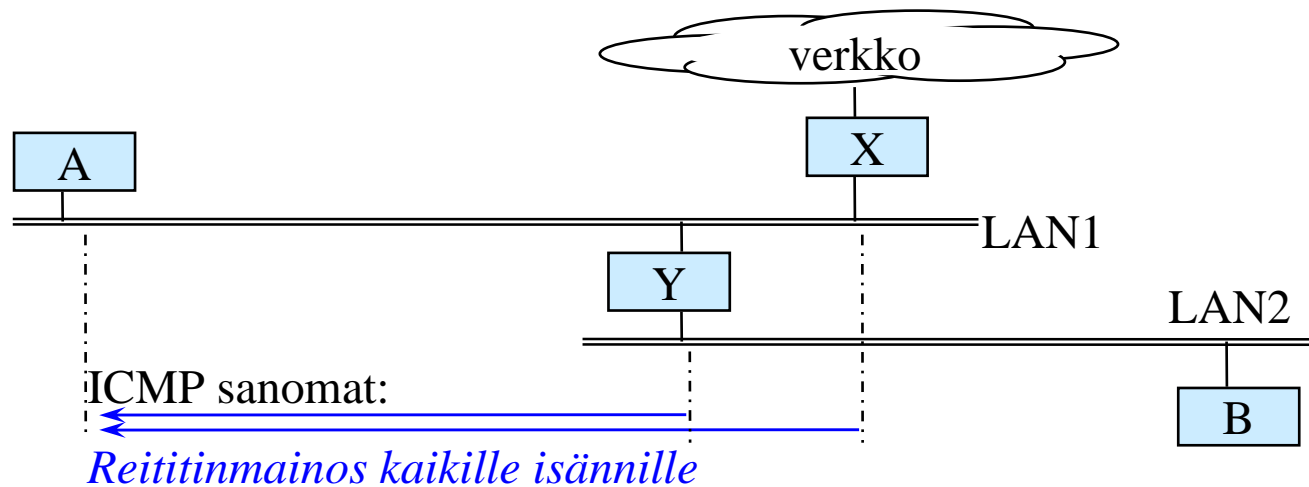
Reitittimen löytäminen

- Miten saada selville reitittimen IP osoite?
 - Manuaalinen konfigurointi – ”default gateway”
 - Automaattinen konfigurointi DHCP:n avulla
 - Ylläpitäjä konfiguroi, vaatii manuaalista työtä
 - Kuuntele reititysprotokollien liikennettä
 - Tuhlaa isäntäkoneen resursseja, liikaa reititysprotokollia → ei käytetä enää
 - Automaattinen reitittimen paikantaminen ICMP:llä



Reitittimen löytäminen

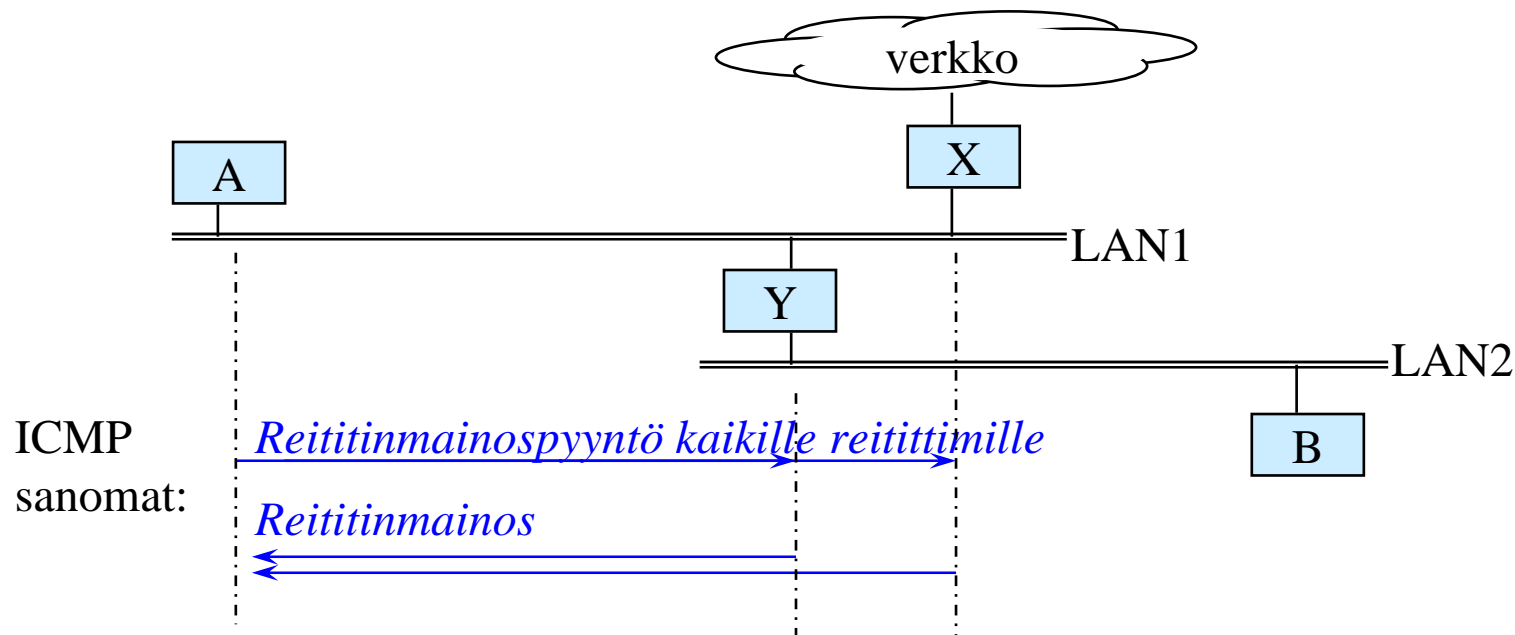
- Reitittimet lähettävät mainoksia kaikille isännille säännöllisesti (esim. 7 minuutin välein)



- Mainos sisältää
 - listan reitittimen osoitteista.
 - osoitteiden preferenssit, joilla merkitään normaali-, vara- jne reititin tai reititinosoite (oletusreitittimen preferenssi on korkein)
 - tiedon elinaika (esim. 30 min)

Reitittimen löytäminen

- Isäntäkone joutuisi odottamaan jopa 7 minuuttia ennen kuin se voi lähettää paketteja oman aliverkon ulkopuolelle
- Mainospyynnön avulla isäntäkone saa mainokset heti

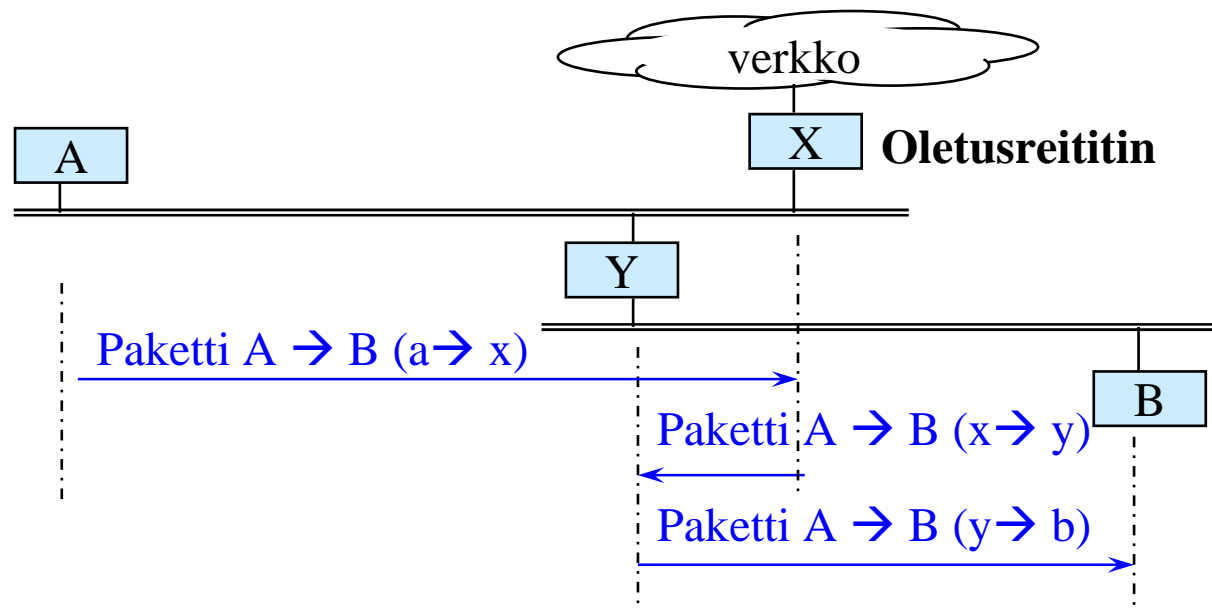


Reitittimen löytäminen

- Isäntäkone valitsee korkeimman prioriteetin samassa aliverkossa olevan reitittimen oletusreitittimeksi
- Kaikki aliverkon ulkopuolelle menevät paketit lähetetään oletusreitittimeen

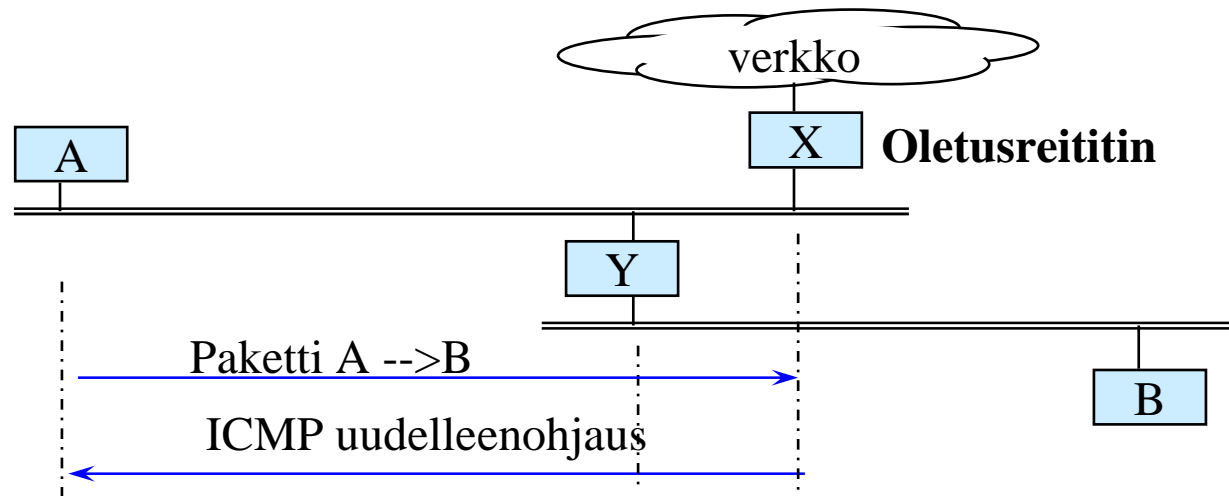
Verkossa voi olla useita reitittimiä, joista pitää löytää se, joka on lähinnä kohdetta

- Oletusreitittimen kautta lähetetty paketti saapuu kohteeseen, mutta saattaa tuhlaata verkon resursseja.



Verkossa voi olla useita reitittimiä, joista pitää löytää se, joka on lähinnä kohdetta

- Reititin voi lähettää uudelleenohjauksen osoittaakseen lyhyemmän reitin kohteeseen



Tyyppi	Koodi	Otsikon tarkistussumma
IP osoite --> reititin=Y		
Internet otsikko + 64 bittiä alkuperäisestä datagrammista		

Tyyppi:

5 – uudelleenohjaus

Koodi:

0 – uudelleenohjaus verkolle

1 – uudelleenohjaus kohteelle

2 – uo palvelutyypille ja verkolle

4 – uo palvelutyypille ja isäntäkoneelle

Redirect is a slow mechanism. Hot-standby addressing is an improvement

- Virtual router redundancy protocol (RFC 2338 - 4/98)
 - a router may have a virtual IP address
 - a router can take the IP and MAC addresses of a failed router (in the same segment)
 - After recovery routers negotiate about address assignments
 - Clients are configured with a static (virtual) router address
 - Cisco and DEC have equivalent proprietary protocols
- Host can listen to RIP or OSPF
 - not recommended but used sometimes anyway

Isäntäkoneen täytyy saada palautetta ensimmäiseltä reitittimeltä, jotta se ei lähettäisi “mustaan aukkoon”

Palautteeksi kelpaa

- TCP tason kuittaukset
- Reititinmainokset
- ARP-vastaukset
- ICMP kaiku vastaus (ping)

Reitittimien välillä reititysprotokollat huolehtivat viallisten reitittimien paljastamisesta

DNS - Domain Name Service

- Miksi DNS?
 - Helpompi muistaa nimiä kuin osoitteita
 - Osoite voi muuttua, nimi pysyy samana
 - Useita osoitteita / isäntäkone
 - Laajennuksia: palvelujen paikantaminen, ENUM
- Nimi → osoite
- DNS ei vaikuta reititykseen

Reititysalgoritmit

Reititysalgoritmit

- Etäisyysvektori
 - Etäisyysvektoreita lähetetään, kunnes verkon tila on stabiloitunut
 - Reitittimet muodostavat reitit yhteistyössä
 - Esimerkki: RIP
- Linkkitila
 - Topologiatietokantoja lähetetään säännöllisesti
 - Jokainen reititin muodostaa reitit itsenäisesti
 - Esimerkki: OSPF

Reititysalgoritmien ominaisuudet

Etäisyysvektori

- + Yksinkertainen ja kevyt
- Konvergoituu hitaasti
- Vain yksi reitti per kohde
- Vain yksi kustannusfunktio

Linkkitila

- Monimutkainen ja raskas
- + Konvergoituu nopeasti
- + Tukee useita reittejä per kohde
- + Tukee erilaisia kustannusfunktioita