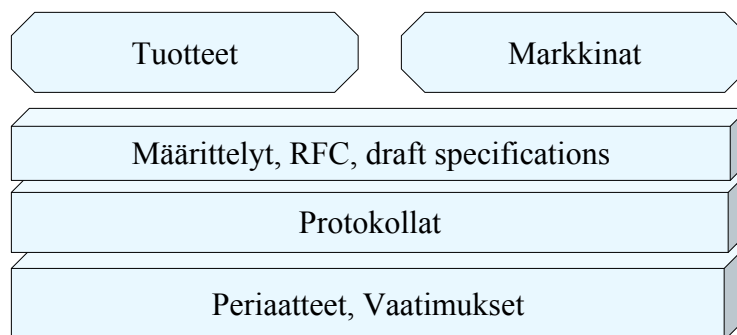


## Johdanto Internetin reititykseen

IPv4, ICMP, ARP, osoitteet

(Luvut 2-3 Huiteman kirjassa)

## Analyysin tasot



## Internet Architecture Principles

### End-to-end principle

- 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
- More reliable transport works for IP
- No state information/connection in the network
  - packets routed independently
- Same principle as in distributed systems

*by Dave Clark*

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-3

## Internet Architecture Principles

### IP over everything

- Interconnection based on IP overlay over all kinds of networks
  - framing or encapsulation
  - address resolution
    - IP-address to network address for each transport technology
  - unique IP-address
- Interconnection based on translation:
  - e.g. signalling interworking - imperfect mapping
  - IPv4 to IPv6 mapping!

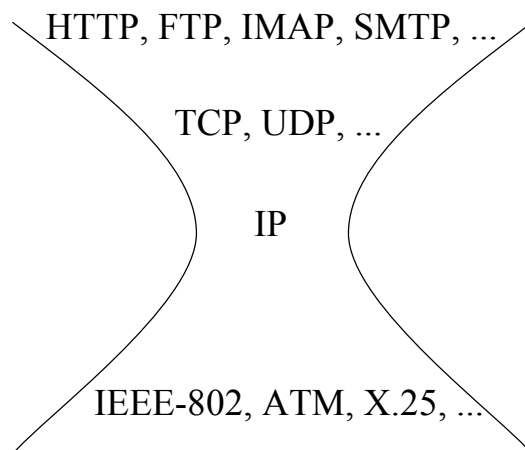
*by Vinton Cerf*

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-4

## Internet Architecture Principles

### IP over everything



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-5

## Internet Architecture Principles

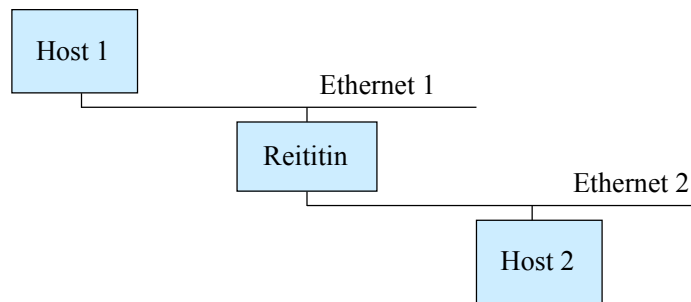
### Connectivity is its own reward

- The value of a network increases in proportion to the square of the number of nodes on the network (Robert Metcalf'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

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-6

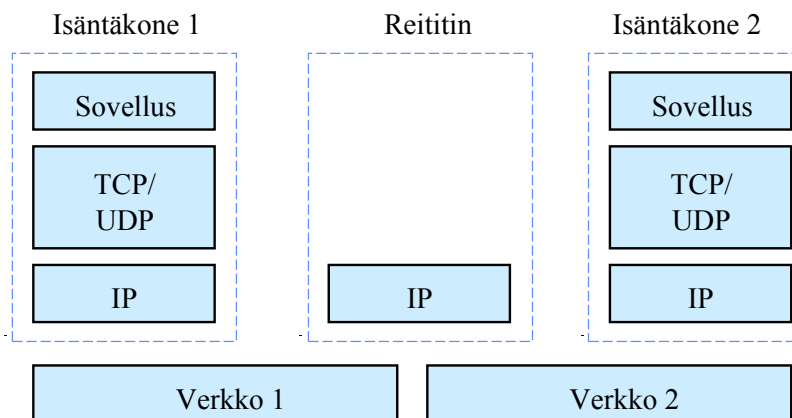
## Yhdistämällä Ethernet segmentit reitittimellä segmenttien liikenteet pystytään erottamaan



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-7

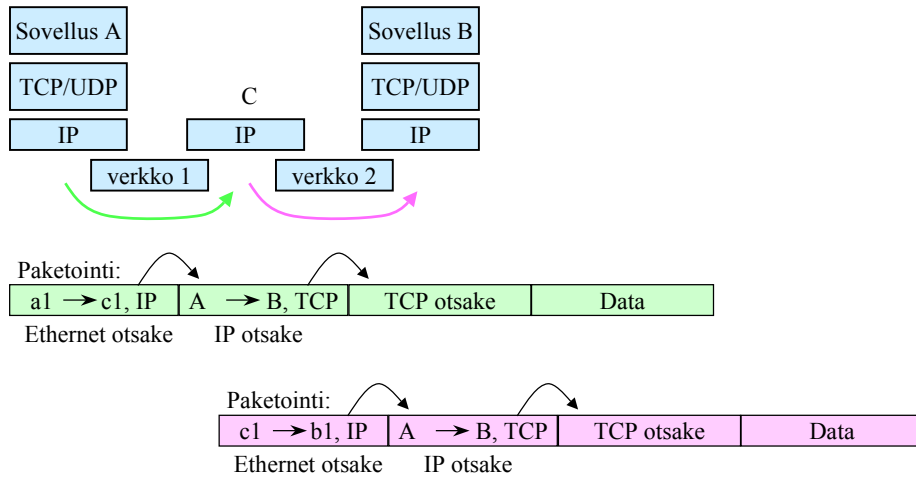
## Internet kerrosmalli - isäntäkoneet ja reitittimet



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-8

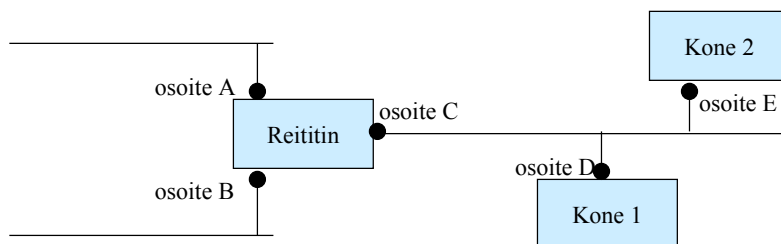
## Internet kerrosmalli - sanomien välitys



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-9

## IP-osoite määrittelee rajapinnan (interface)

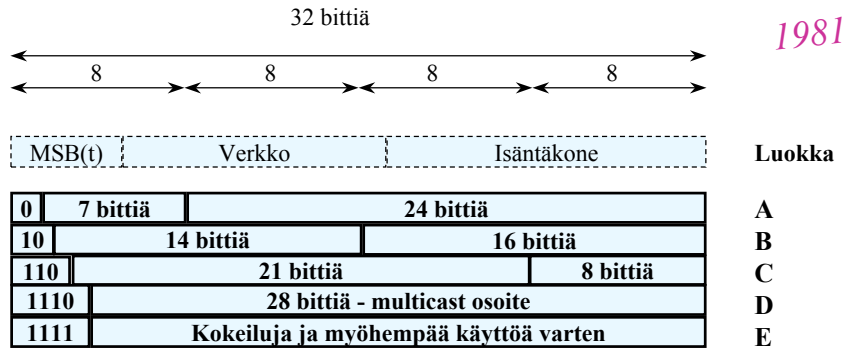


S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-10

## IPv4 osoiteformaatit

- Alunperin kahden tason (verkko, isäntä) hierarkia:



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-11

## IPv4 osoiteformaatit

- Uusi taso helpottaa verkon ylläpitoa

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

- Esimerkkejä:

Mask	IP osoite	Verkko	Aliverkko	Isäntäkone
0xFFFF0000	10.27.32.100	A: 10	27	32.100
0xFFFFE00	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)*

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-12

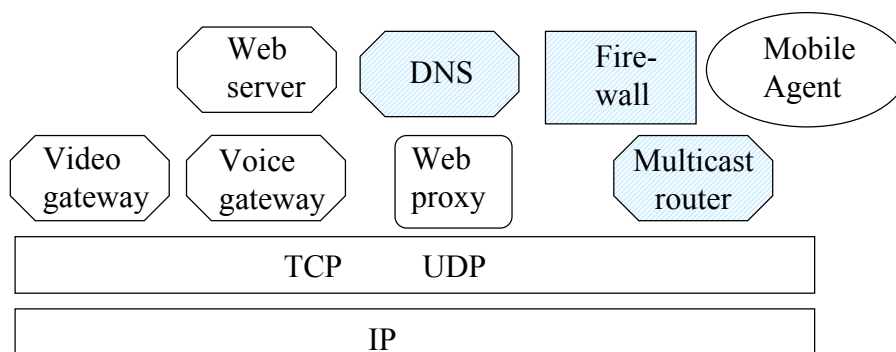
## Erikoisosoitteet

- 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)

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-13

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



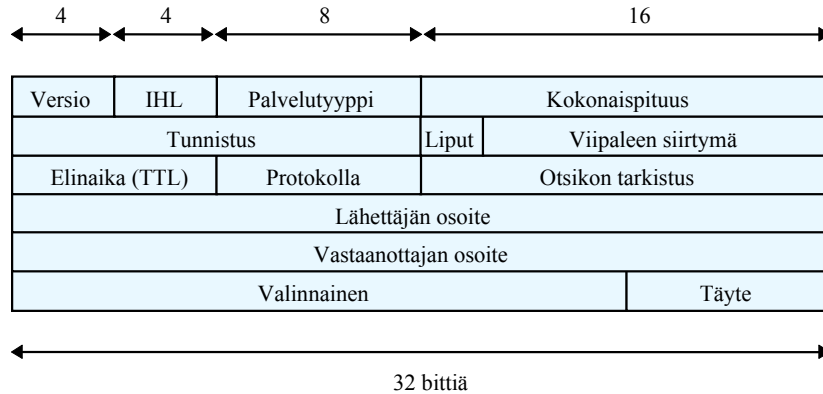
*Tässä kurssissa puututaan yo komponentteihin vain sikäli kuin ne liittyvät reititykseen.*

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-14

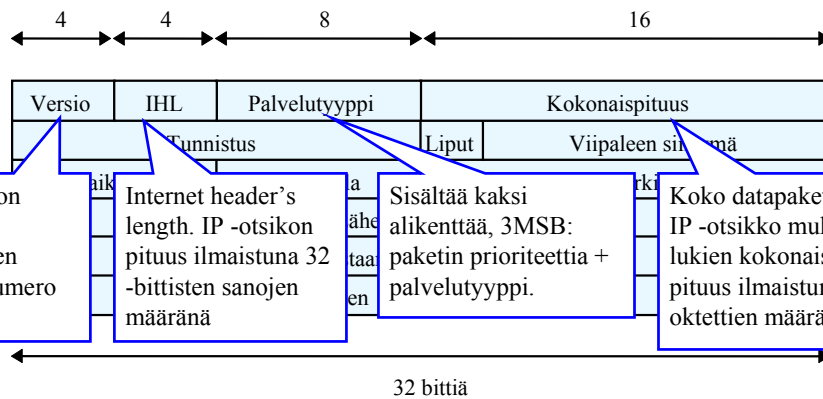
# IP paketin otsikko

RFC-791



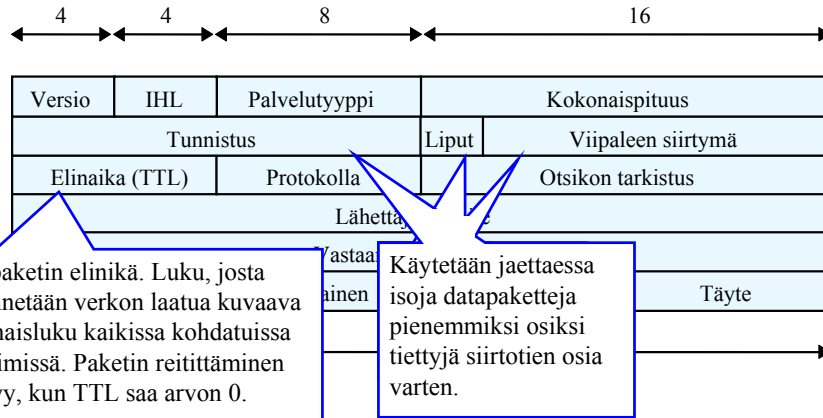
Oletus: Lähettäjä tietää oman osoitteensa  
 jos ei --> itsekonfigurointi (RARP, BOOTP, DHCP - dynamic host conf. protocol)

# IP paketin otsikko





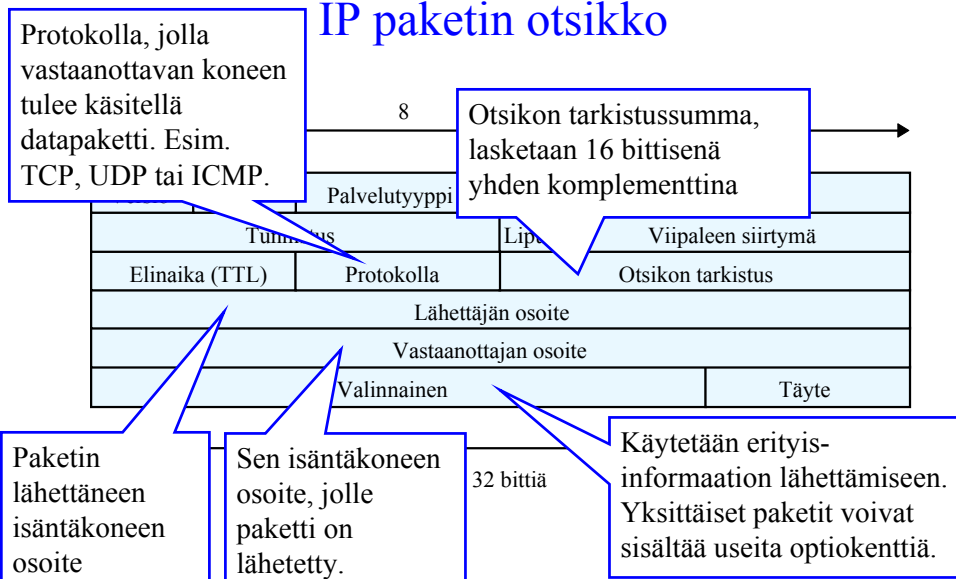
## IP paketin otsikko



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-17

## IP paketin otsikko



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-18

## 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)
  - käytetään harvoin.

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-19

## Palvelun tyyppi

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

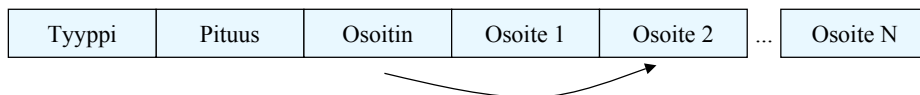
- Reitin valintakriteeri
  - D - viiveen minimointi
  - T - siirtokapasiteetin maksimointi
  - R - luotettavuuden maksimointi
  - C - kustannusten minimointi
  - Vain yksi valintakriteeri kerralla sallittu
- Prioriteetti
  - Suurin arvo otetaan jonosta ensin reititettäväksi
- Käytännössä näitä ei yleensä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

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-20

## 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 tuhotaan.
- Käytetään harvoin



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-21

## ICMP - Internet Control Message Protocol

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

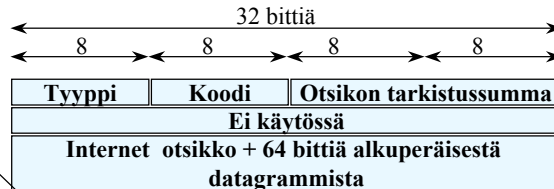
S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-22

## ICMP viestejä

**Tyyppi =**

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



**Koodi =**

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

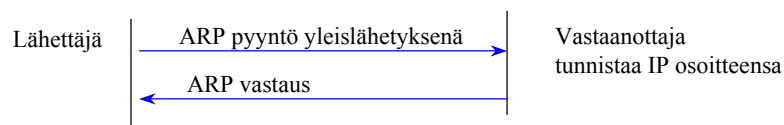
S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-23

## Paketin lähetys

Lähettäjän toiminta:

- Tutkitaan 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.

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-24

## ARP - Address resolution protocol

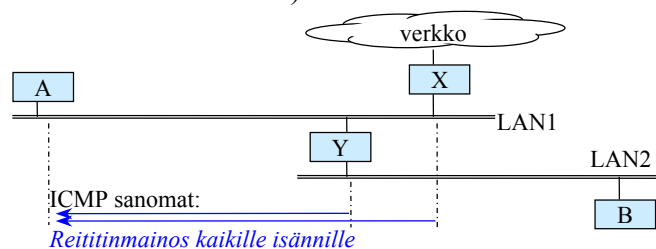
- Address Resolution Protocol (RFC 826)
- ARP sovittaa IP:n allaolevaan verkkoon
- IP-osoite -> MAC-osoite
- Joka teknologia vaatii oman ARP sovituksen
  - Helppoa, jos teknologia tukee yleis- tai monilähetystä
    - Ethernet, Token Ring, FDDI
  - ATM:ssä tarvitaan ARP-palvelin
  - Käsin määritelty osoite
    - X.25, ISDN, Frame-Relay
- Toimii suoraan Ethernetin päällä (ei IP:n päällä)

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-25

## Reitittimen löytäminen

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



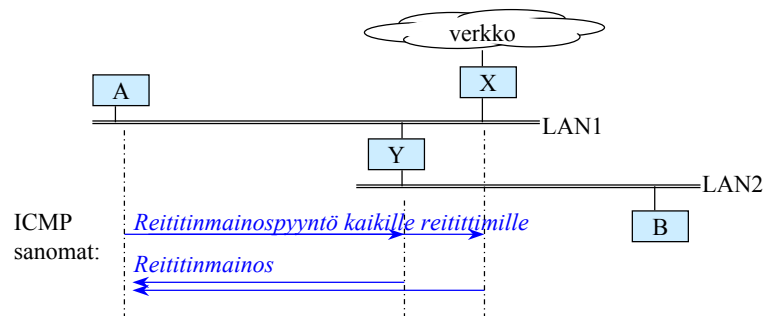
- Mainos sisältää
  - listan reitittimen osoitteista.
  - osoitteiden preferenssit, joilla merkataan normaali-, vara- jne reititin tai reititinosoite (oletusreitittimen preferenssi on korkein)
  - tiedon elinaika (esim. 30 min)

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-26

## Reitittimen löytäminen

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



S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-27

## Reitittimen löytäminen

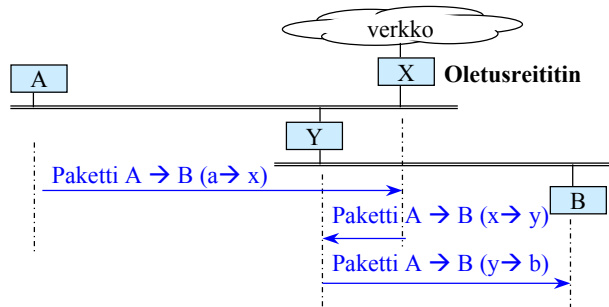
- Isäntäkone valitsee korkeimman prioriteetin samassa aliverkossa olevan reitittimen oletusreitittimeksi
- Kaikki aliverkon ulkopuolelle menevät paketit lähetetään default-reitittimeen

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-28

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

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

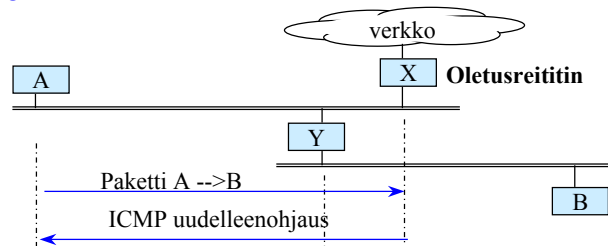


S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-29

## 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 palvelutypille ja verkolle  
 4 – uo palvelutypille ja isäntäkoneelle

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-30

## 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
- Nimi → osoite
- DNS ei vaikuta reititykseen

## Reititys Internetissä

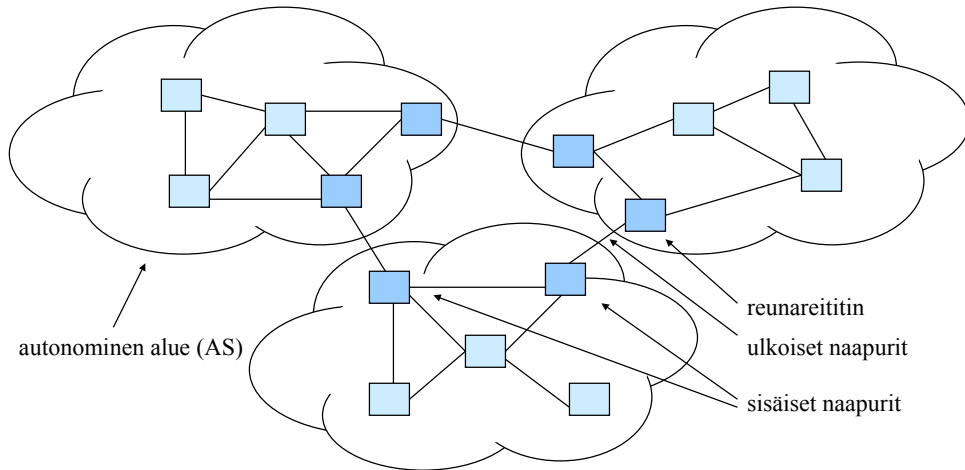
## Reititys voi olla staattista tai dynaamista

- Staattinen reititys perustuu käsin määriteltyihin reititystauluihin
  - Static routing is used when e.g. two peer providers do not trust each other or
  - To connect an organisation to a Service Provider with a single connection
  - Static routing is difficult to maintain
- Dynaaminen reititys perustuu protokoliin, jotka luovat ja ylläpitävät reititystauluja automaattisesti
  - Examples of routing protocols are RIP, OSPF, BGP...
  - E.g. to connect an organisation with multiple links to the Internet

## Internetin reititys perustuu reititysprotokoliin, joilla kerätään lähtötiedot

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

## Reititys jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen

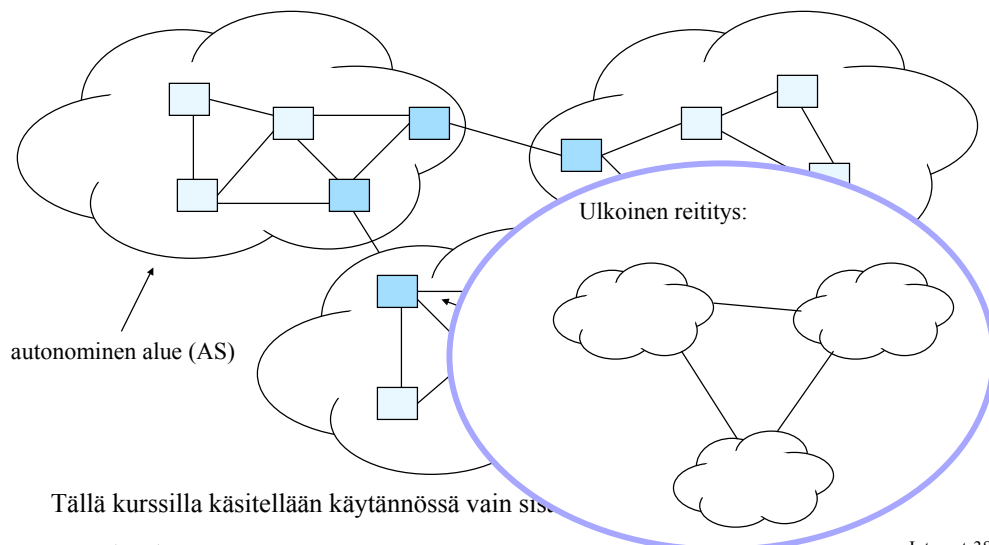


Tällä kurssilla käsitellään käytännössä vain sisäistä reititystä.

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-37

## Reititys jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen



Tällä kurssilla käsitellään käytännössä vain sisäistä reititystä.

S-38.121 / S-03 / RKa, NB

Internet-38

## 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)**

## 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