

Johdanto Internetin reititykseen

Internet architecture
IPv4, ICMP, ARP
Addressing, routing principles

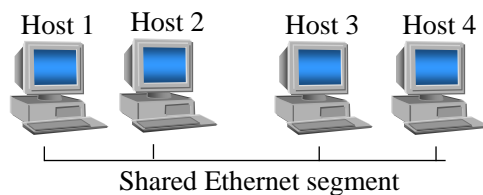
(Luvut 2-3 Huiteman kirjassa)

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-1

Ethernet

- Most widespread LAN technology
- Shared medium: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD)



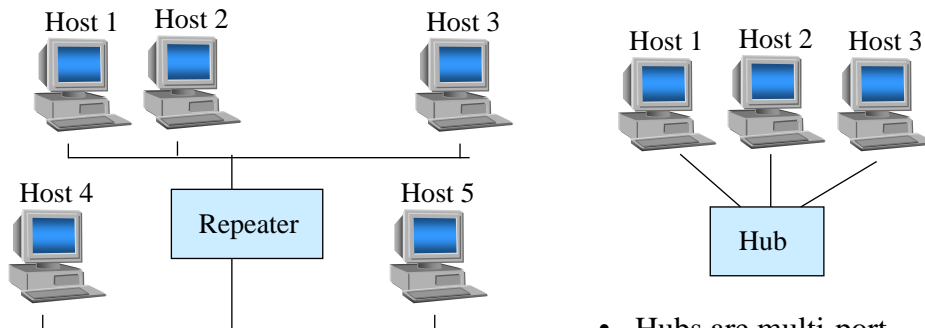
- Everyone receives everyone's traffic!
- Limited length!
- Supports broadcast

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-2

Interconnecting Ethernet segments with repeaters

- Repeaters repeats traffic of one segment on the other segment



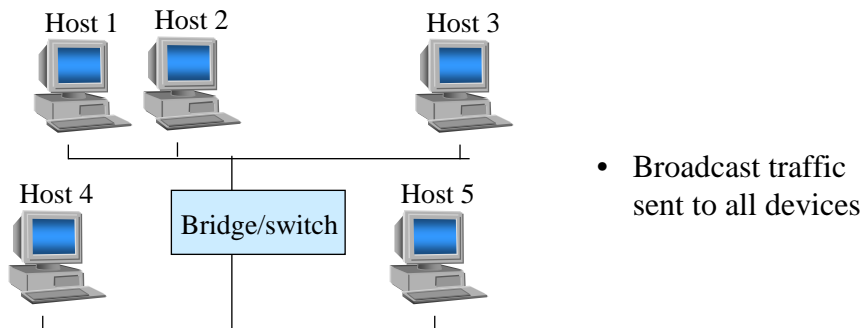
- Still everyone receives everyone's traffic!
- Limited number of repeaters!
- Hubs are multi-port repeaters

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-3

Bridges learn where devices are and forward packets only to the segment where the destination is

- Prior to discovery bridges/switches pass all traffic between segments

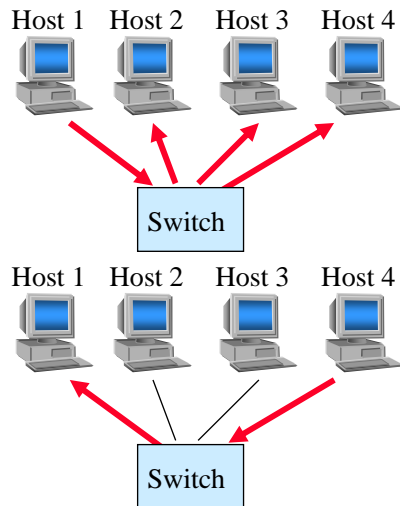


- Broadcast traffic sent to all devices
- Allows different speeds in different segments
- Network size not physically limited

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-4

Example



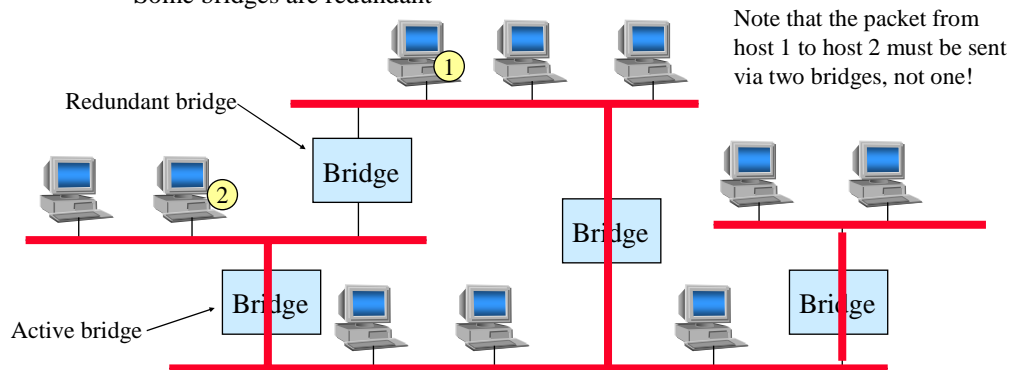
- Host 1 has a packet to send to Host 4
- The switch receives the packet and learns that Host 1 is on interface 1
- The switch does now know Host 4
- The packet is sent on all interfaces
- Host 4 has a packet to send to Host 1
- The switch receives the packet and learns that Host 4 is on interface 4
- The switch now knows that Host 1 is on interface 1
- The packet is sent on interface 1

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-5

A spanning tree connects all segments without loops

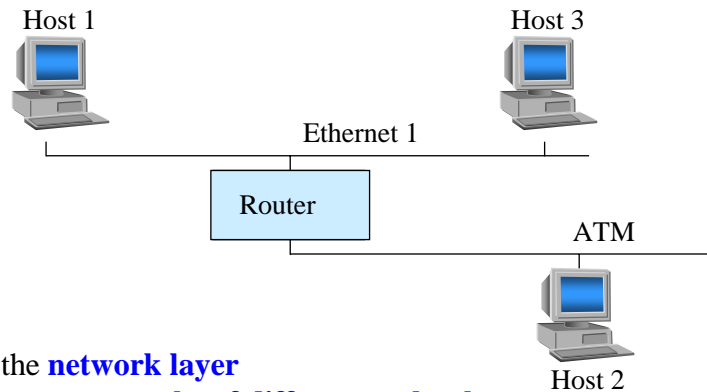
- Spanning tree protocol
 - Only one possible path between two devices -> loops are impossible
 - Some bridges are redundant



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-6

A router allows the shortest paths to be used



A router

- operates on the **network layer**
- can **interconnect networks of different technology** (ATM, Ethernet, Frame relay, FDDI, ...)

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-7

Routed IP vs. switched Ethernet

Routed IP

- Interworking between network technologies
- Complex, expensive
- One route per destination
 - shorter routes
 - load distribution
- Address allocation
- Hierarchical address space

Switched Ethernet

- Works with Ethernets
- Simple, cheap, less layers
- All destinations use the same spanning tree
 - longer routes
 - congestion on the tree
- Fixed addresses
- Flat address space

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-8

Issues to be addressing for use of Ethernet in WANs

- Avoid broadcasting of packets to an unknown destination
- Forwarding table size (flat topology)
- Use the shortest path instead of a spanning tree
- Use all available links for load balancing
- Limit use of broadcasting
- Faster convergence (rapid spanning tree)
- Peering, policies, address hierarchy

Do we re-invent IP when these are implemented in Ethernet?

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-9

Internet Architecture Principles

End-to-end principle

by Dave Clark

- Hop-by-hop control vs. End-to-end control
 - In X.25
 - Intelligence in the network
 - Error and flow control on each hop
- The network can not be trusted
 - The user must in any case check for errors
→Network control is redundant
- Error checking and flow control by TCP in the end stations
- No state information in the network
 - The network is not aware of any connections
 - Packets routed independently
 - If a link fails, another route is used
- Same principle as in distributed systems

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-10

Internet Architecture Principles IP over everything

by *Vinston Cerf*

- Internet connects different types of networks
 - Each with different framing, addressing, ...

Interconnection based on *translation*

- Mapping through a gateway
- Never perfect

Interconnection based on *overlay*

- Approach used by IP
- Single protocol over all underlying networks
- Simple to adapt to new technologies
 - Define framing or encapsulation
 - Define address resolution: IP-address → network address
- Unique IP-address

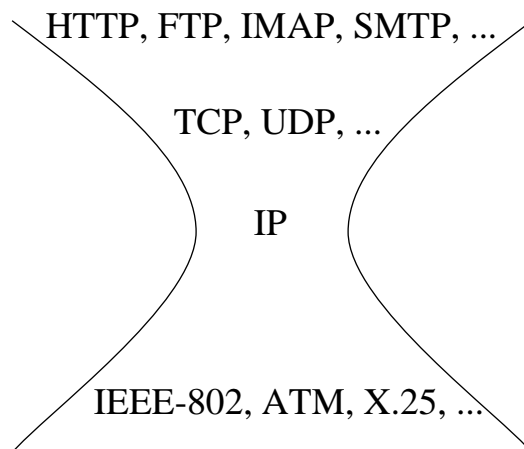
Translation still needed in many cases

E.g. signaling interworking, IPv4 to IPv6 mapping

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-11

Internet Architecture Principles IP over everything



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-12

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

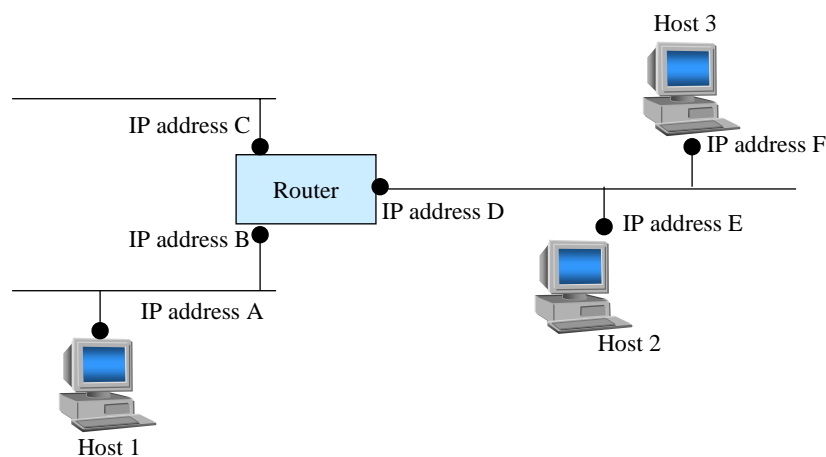
by Jon Postel

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-13

IP-osoite määrittelee rajapinnan (interface)

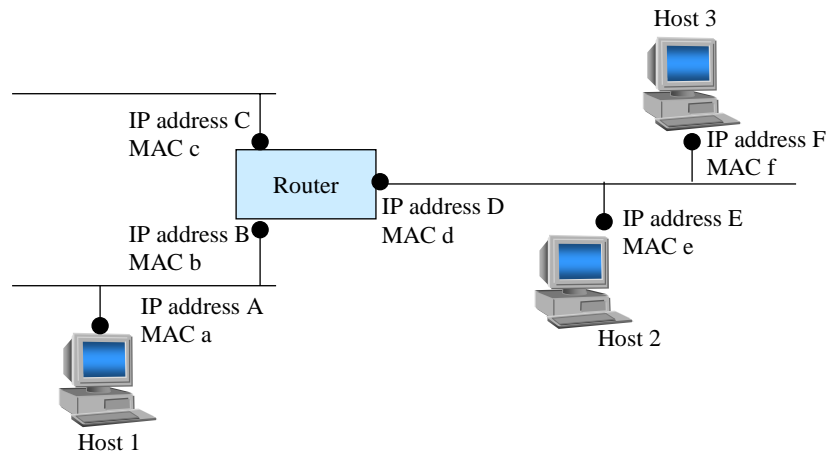
(ei isäntäkonetta)



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-14

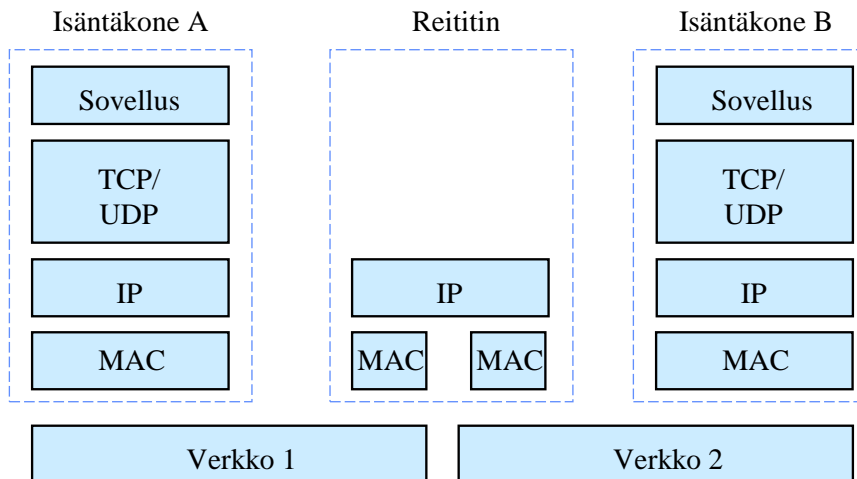
Jokaiseen rajapintaan liittyy myös MAC osoite



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-15

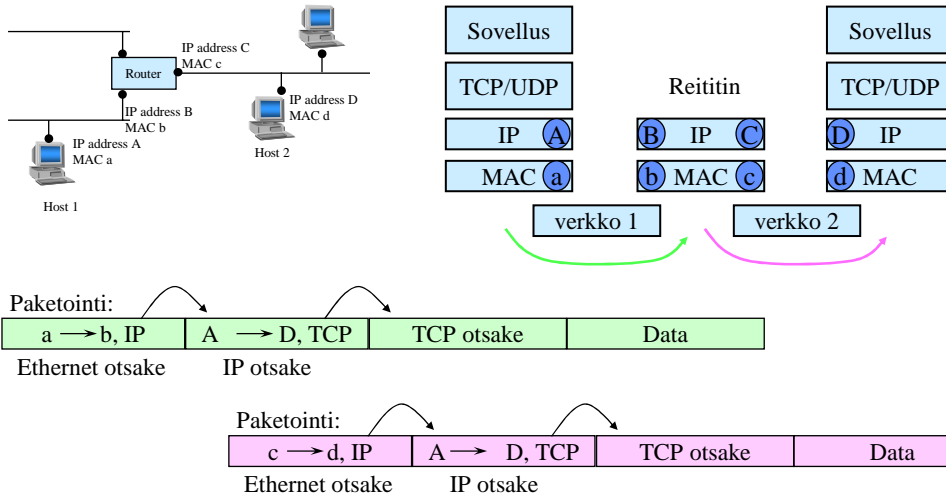
Internet kerrosmalli - isäntäkoneet ja reitittimet



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-16

Internet kerrosmalli - sanomien välitys



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-17

IPv4 osoiteformaatit

- Alunperin kahden tason (verkko, isäntä) hierarkia:



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-18

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

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB Internet-19

IPv4 address formats

- Examples:

Mask	IP address	Network	Subnet	Host
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
0xFFFFF0C0	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 osoiteformatit

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
0xFFFFF0C0	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

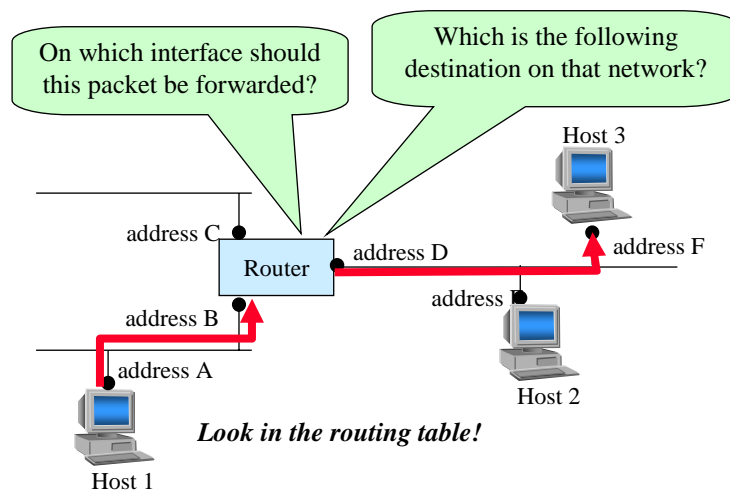
Without right zeroes (and with right zeroes)

*Later updated by CIDR
(discussed later)*

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-21

Two functions of a router: 1. Packet forwarding



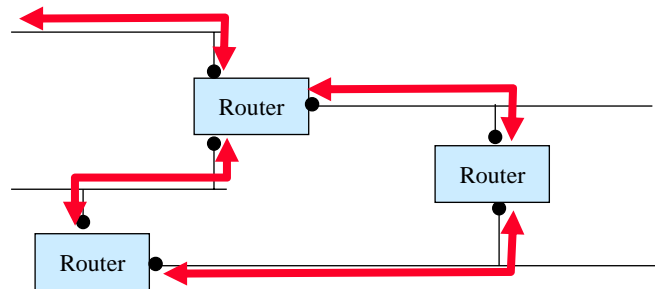
S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-22

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)

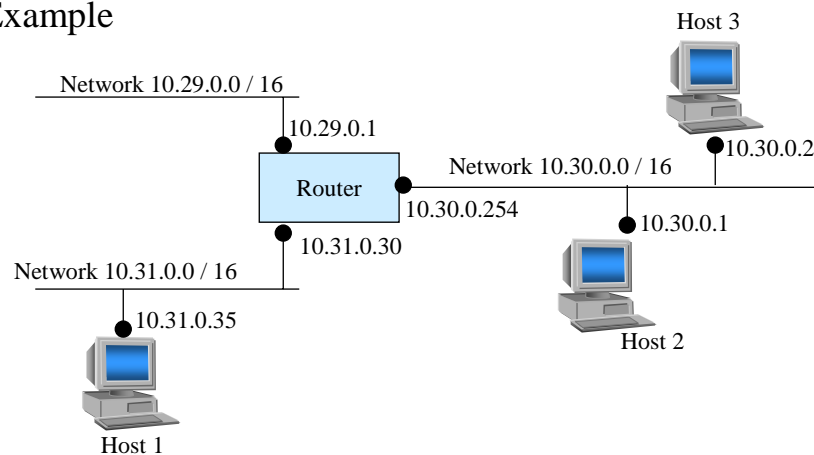


S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-23

Routers maintain routes to networks (not to hosts)

- Example

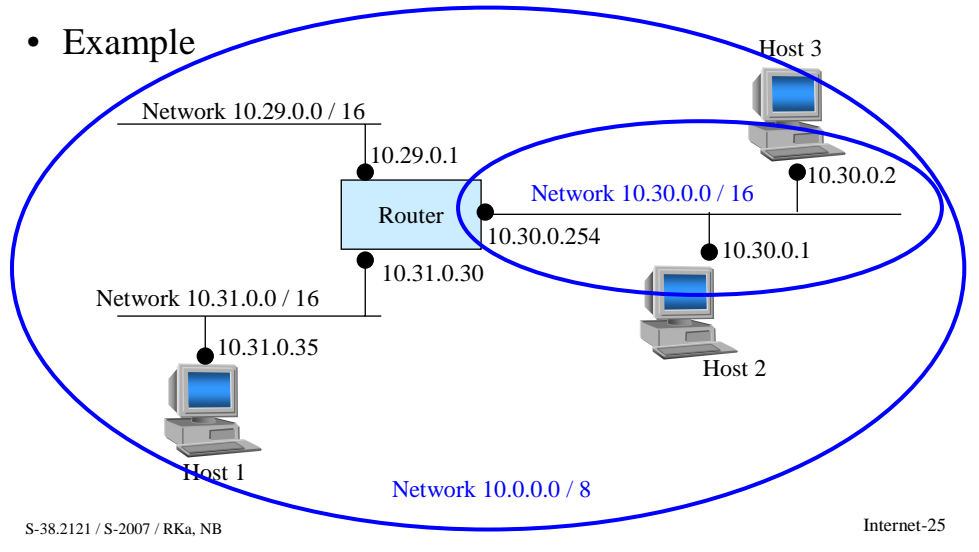


S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-24

Aggregation describes several addresses in a single entry to reduce size of routing tables

- Example

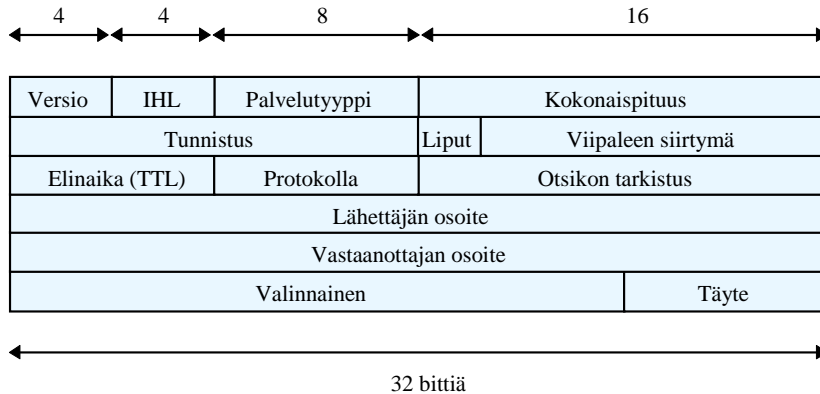


Erikoisosoitteet

- 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

IP paketin otsikko

RFC-791

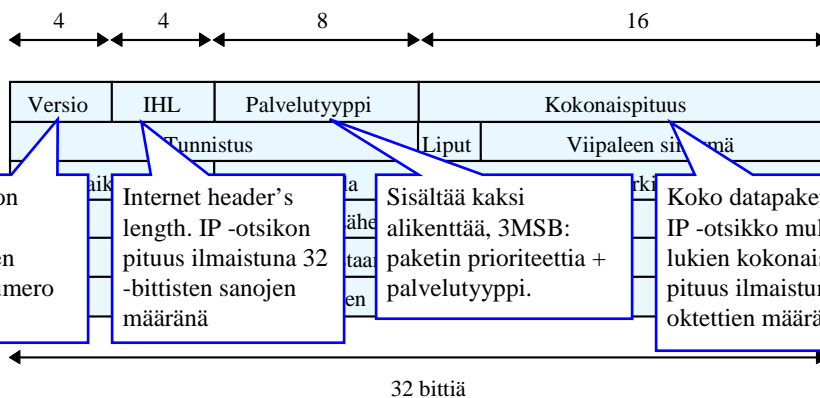


Oletus: Lähettäjä tietää oman osoitteensa
 jos ei: itsekonfigurointi (RARP, BOOTP, DHCP - dynamic host conf. protocol)

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-27

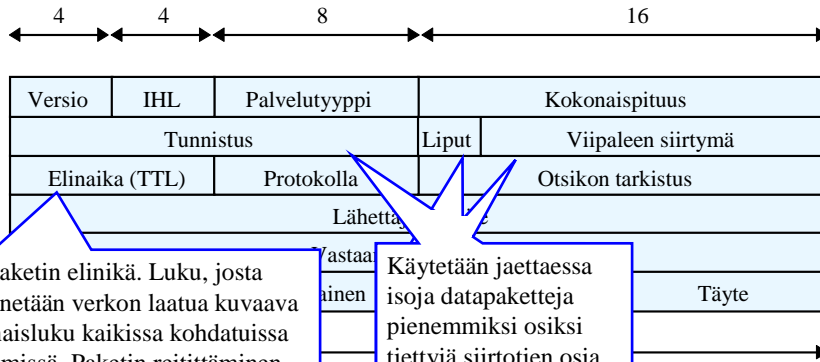
IP paketin otsikko



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-28

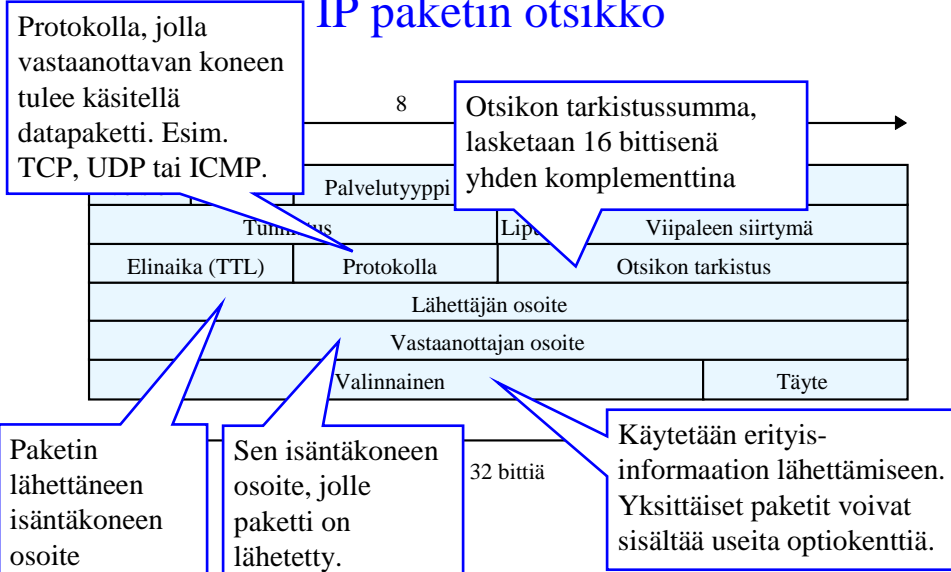
IP paketin otsikko



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-29

IP paketin otsikko



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-30

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.

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-31

Palvelun tyyppi

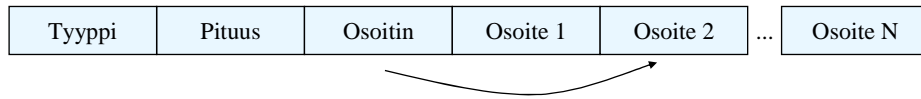
Prioriteetti	D	T	R	C	
--------------	---	---	---	---	--

- 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

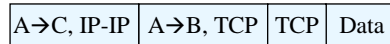
S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-32

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:



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-33

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 tuhoetaan, ei generoida uutta ICMP-viestiä (jottei tule ”lumivyöryä“)

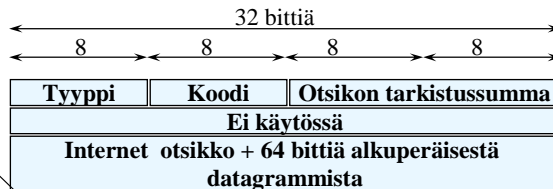
S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-34

ICMP viestejä

Tyyppi =

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



Koodi =

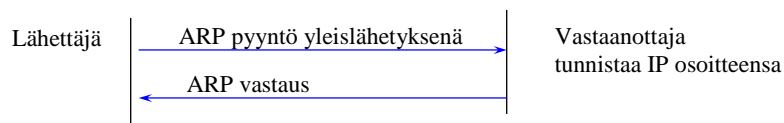
- 0 - verkko saavuttamaton
- 1 - isäntäkone saavuttamaton
- 2 - protokolla saavuttamaton
- 3 - portti saavuttamaton
- 4 - sanoma paloiteltava
- 5 - lähdereitti viallinen

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-35

Paketin lähetyks

- 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.

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-36

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 määritely osoite
 - X.25, ISDN, Frame-Relay
- Toimii suoraan Ethernetin päällä (ei IP:n päällä)

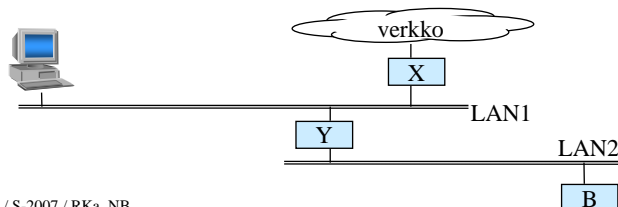
RFC-826

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-37

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

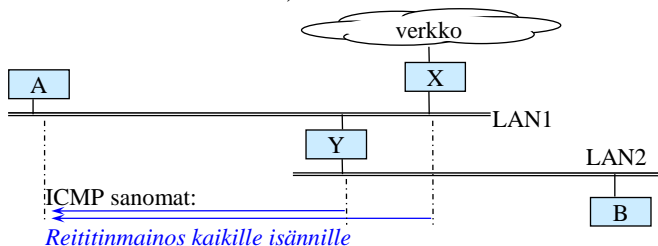


S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-38

Reitittimen löytäminen

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



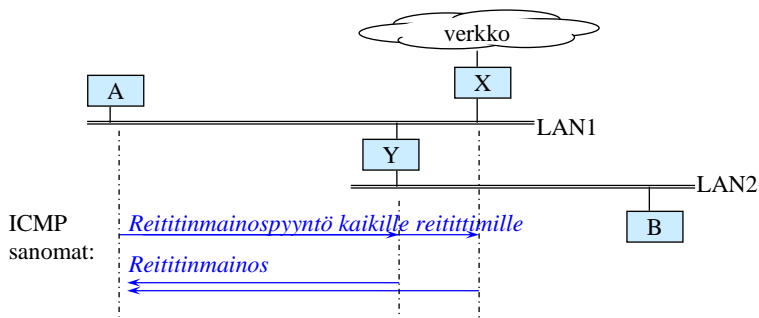
- Mainos sisältää
 - listan reitittimen osoitteista.
 - osoitteiden preferenssit, joilla merkataan normaali-, vara- jne reititin tai reititinosoite (oletusreitittimen preferenssi on korkein)
 - tiedon elinaika (esim. 30 min)

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-39

Reitittimen löytäminen

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



S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-40

Reitittimen löytäminen

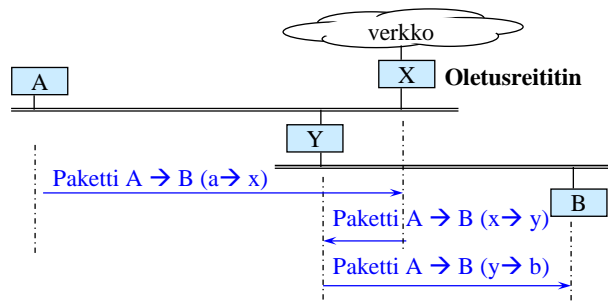
- Isäntäkone valitsee korkeimman prioriteetin samassa aliverkossa olevan reitittimen oletusreitittimeksi
- Kaikki aliverkon ulkopuolelle menevät paketit lähetetään oletusreitittimeen

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-41

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

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

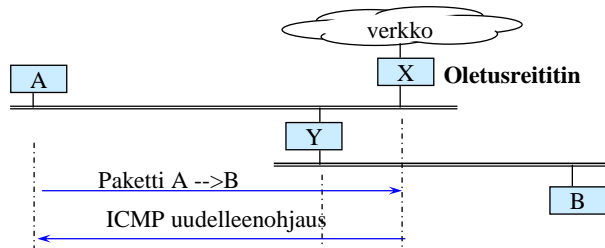


S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-42

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 verkkolle
 1 – uudelleenohjaus kohteelle
 2 – uo palvelutyyppille ja verkkolle
 4 – uo palvelutyyppille ja isäntäkoneelle

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-43

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

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-45

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

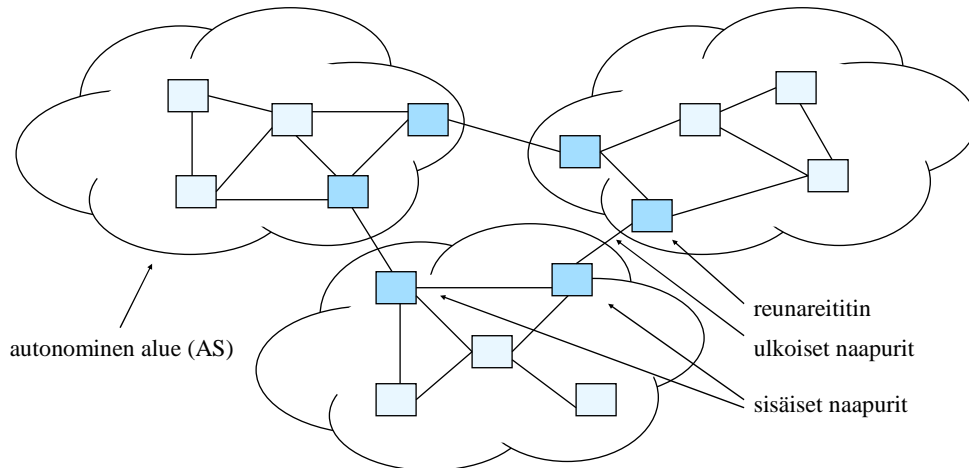
Internetin reititys perustuu reititysprotokolliin, joilla kerätään lähtötiedot

- 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

Reititys jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen



Tällä kurssilla käsitellään käytännössä vain sisäistä reititystä.

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-50

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

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-51

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)**

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-52

Routing algorithms Proactive vs. reactive

- Proactive
 - The router creates and maintains routes to all destinations
 - The routes are available in advance
 - The routing algorithms in the Internet are proactive
- Reactive
 - Routes are created only when they are needed
 - Used in e.g. ad hoc networks (discussed later in this course)

S-38.2121 / S-2007 / RKa, NB

Internet-53

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