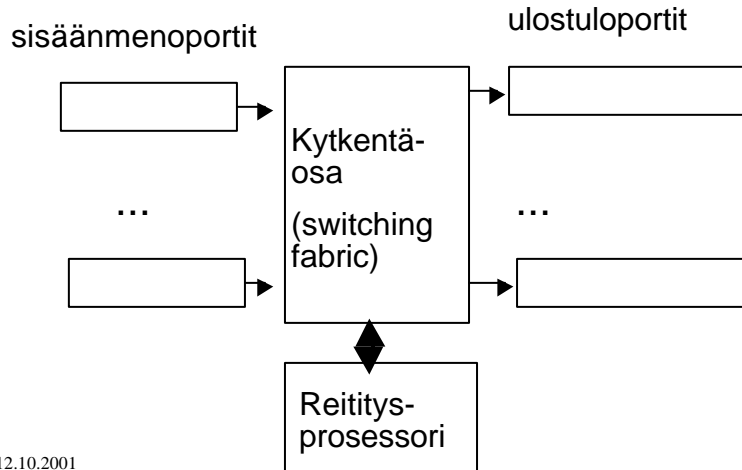


Reitittimen rakenne



12.10.2001

41

• Portit

– peruskerroksen toiminnot (PK)

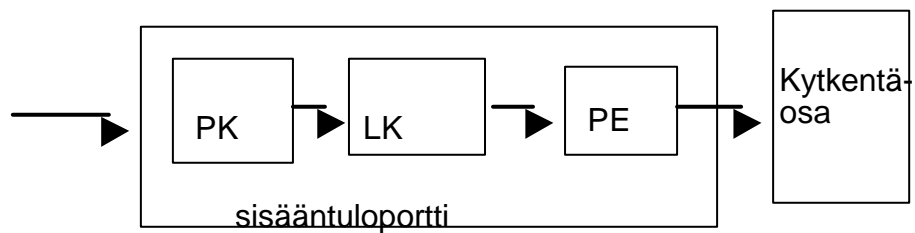
- fyysisen siirtoyhteyden pää

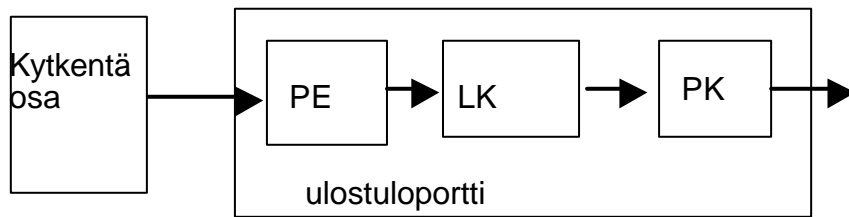
– linkkikerroksen toiminnot (LK)

- virhetarkistukset, vuonvalvonta,
- MAC-kerroksen toiminnot

– pakettien edelleenohjaaminen (PE)

- datapaketit kytkentäverkoston kautta oikeaan ulostuloporttiin
- valvontapakettit (RIP, OSPF, BGP) reititysprosessorille





Vastaavasti kukin ulostuloportti tallettaa sen kautta eteenpäin lähtevät paketit ja suorittaa niille linkkikerroksen ja peruskerroksen vaatimat toimenpiteet.

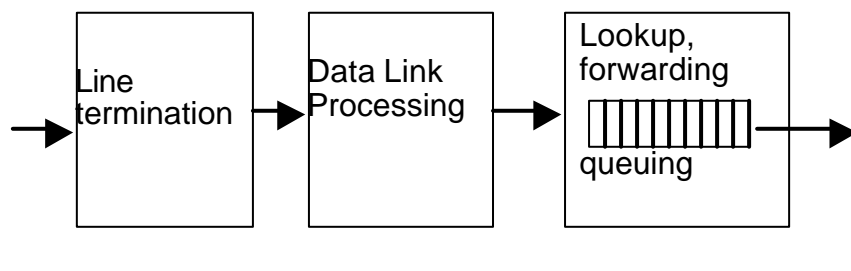
Käytännössä useita portteja on yhdistetty yhdeksi linjakortiksi (line card) reitittimen sisällä.

• **Reititysprosessori**

- suorittaa reititysprotokollaa
- RIP, OSPF, BGP, ..
- päivittää reititystauluja
- hallinta- ja ylläpitotoimintoja

• **KytKentäosa**

- yhdistää paketin sisääntuloportit ulostuloportteihin
- paketti siirtyy oikeaan verkkoon
- täysin reitittimen sisällä



Sisääntuloportin toiminta

Etsitään reititystaulusta kohdeosoitetta vastaava ulosmenoportti.

Yleensä kopio reititystaulusta talletettu porttiin ja reititysprosessori päivittää sitä. Näin kukin portti pystyy itse etsimään oikean ulosmenoportin.

Muuten paketti ohjataan reititysprosessorille, joka etsii reititystaulusta oikean portin (portti on pelkkä verkkokortti).

- **Runkolinjareitittimiltä vaaditaan hyvin suuria nopeuksia**

- miljoonia hakuja sekunnissa
- pitäisi pystyä toimimaan linjan nopeudella
 - OC48-linkki => 2.5 Gbps
 - jos paketin koko 256 tavua => noin miljoona hakua sekunnissa

- **erilaisia tekniikoita**

- talletetaan reititaulun alkioit puurakenteina

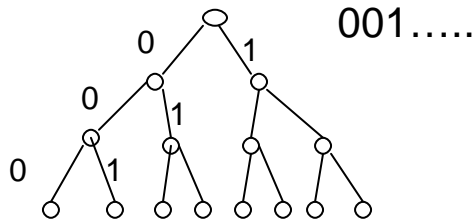
Osoitteen

1. bitti

2. bitti

3. bitti

jne



Kun $n = 32$ ei ole tarpeeksi nopea nykyisiin runkoreitittimiin!

- content addressable memory (CAM)
- välimuistin käyttö

KytKentäosa

• KytKentä muistin kautta

- portit tavallisia käyttöjärjestelmän I/O-laitteita
- keskeytys ilmoittaa paketin saapumisesta
- CPU kopioi paketin sisääntuloportista muistiin
- CPU tutkii osoitteen ja reitistystaulusta etsii vastaavan ulosmenoportin
- CPU kopioi paketin muistista tähän ulosmenoporttiin
- muistin saantinopeus rajoittaa toimintaa

• nykyiset reitittimet

- käyttävät linjakortin omia prosessoreita

- **KytKentä väylän kautta**

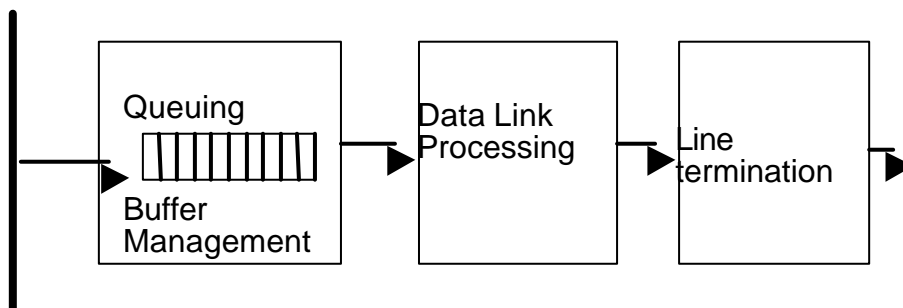
- sisääntuloportit siirtävät paketin väylän kautta suoraan oikeaan ulosmenoporttiin
- vain yksi paketti kerrallaan voi kulkea väylässä
- jos väylä on varattu, paketti joutuu odottamaan
- väylän nopeus rajoittaa kytkentänopeutta
 - Gbps nopeudet riittävät LANeille ja yritysverkoilla

- **KytKentä kytkentäverkon kautta**

- ristikkäinkytkin (crossbar switch)
- $2N$ väylää, jotka yhdistävät N sisääntuloporttia N :ään ulosmenoporttiin
- voivat tukkeutua => odotusta sisäänmenoportissa
 - Cisco 12000: 64 Gbps

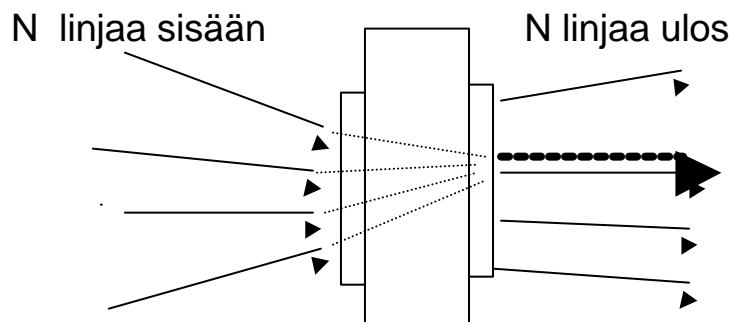
Ulosmenoportit

Ulosmenoportti lähettää paketin taas seuraavaan verkkoon



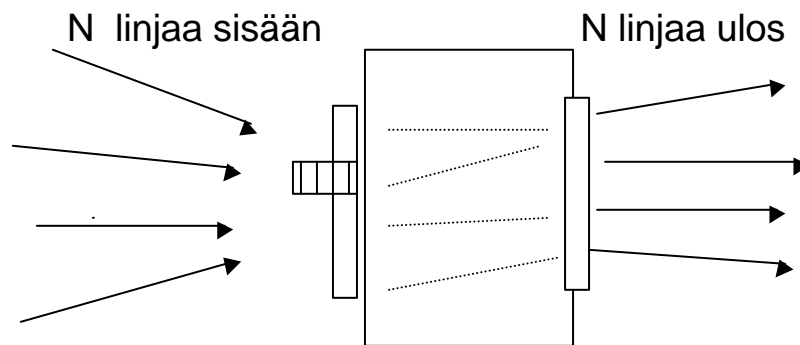
Jonotus reitittimessä

- **Sekä sisäänmeno- että ulostuloporttiin voi syntyä jonoa**
 - näissä jonoissa reititin voi kadottaa paketteja, kun puskuritila ei enää riitä
 - se kummassa jonossa paketit katoavat, riippuu kytkimen ja linjan nopeuden suhteista
 - jonoa voi syntyä myös, koska useasta lähteestä pyritään samaan kohteeseen



Kytкин toimii riittävällä nopeudella, joten sisääntulossa ei tarvitse jonottaa.

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



Jos kytkin ei toimi tarpeeksi nopeasti, sisääntuloportteihin syntyy jonoja.

Esim. Ristikkäinkytkimessä 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)

4.3. Internetworking

- **verkot erilaisia: nyt ja aina**
 - palvelu: yhteydellinen / yhteydetön
 - osoittaminen: yksitasoinen / hierarkkinen
 - monilähetys/yleislähetys
 - paketin koko
 - toiminnot :
 - palvelulaatu (qos), virheiden käsittely, vuonvalvonta, ruuhkanvalvonta, turvaus ja laskutus
 - protokolla

- o
- o
- o

• **ongelmana on erilaisten toiminnallisuuksien yhteensopivuus**

- luotettavuus
- ruuhkan valvonta
- kuittaukset
- toimitusaikatakuut

12.10.2001

55

- o
- o
- o

Yhteydettömien verkkojen yhdistäminen

- **verkkokerroksen protokollien oltava (lähes) samoja**
- **osoittaminen**
 - IP: 32-bittinen osoite
 - OSI: puhelinnumeron kaltainen osoite
 - osoitteiden yhteensovittaminen?
 - globaaliosoiteavaruus? standardi?

12.10.2001

56

- o
- o
- o

Pakettien paloittelu (fragmentation)

- **kaikissa verkoissa paketilla jokin maksimikoko**
 - laitteisto (TDM-viipaleen pituus)
 - käyttöjärjestelmä (käytetty puskurinkoko)
 - protokolla (pituuskentän bittien lukumäärä)
 - standardinmukaisuus
 - virheistä johtuvan uudelleenlähetyksen vähentäminen
 - tasapuolisuuden tavoite
- **48 tavua (atm) => 65515 tavua (IP)**

12.10.2001

57

- o
- o
- o

Liian iso paketti verkkoon

- **liian iso paketti paloitellaan yhdyskäytävässä**
- **missä paketti kootaan?**
 - samassa verkossa, missä paloiteltiin
 - kaikki paketit ohjattava samaan yhdyskäytävään
 - jatkuvaa pilkkomista ja kokoamista!
 - vasta määränpäässä
 - pieni pakettikoko => lisää yleisrasitetta
 - kaikkien solmujen kyettävä kokoamaan paketteja

12.10.2001

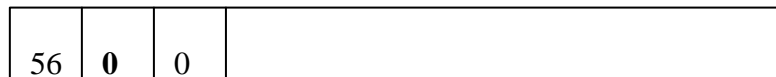
58

Pakettien kokoaminen

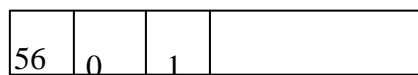
- edellyttää palojen 'numerointia'
 - on tiedettävä, mikä pakettin mikä osa on kyseessä
- kaikissa paloissa alkuperäisen pakettin tunniste + sijainti paketissa
 - sijainti: pakettiin kuuluvan ensimmäisen tavun sijainti alkuperäisessä paketissa
- lisäksi tieto, onko pala pakettin viimeinen

12.10.2001 • tai tiedettävä pakettin pituus

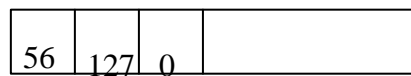
59



alkuperäinen paketti



paketin alkuosa



paketin loppuosa

paketin
tunnus

↑
sijainti-
kohta
eli
osan
numero

↑
viimeinen
paketin
osa?

↘
paketin data

◦
◦
◦

4.4. Internetin verkkokerros

- **Internet**

- on kokoelma ‘itsenäisiä’ aliverkkoja eli autonomisia järjestelmiä (AS, Autonomous Subsystem)
- joita yhdistää runkolinjat

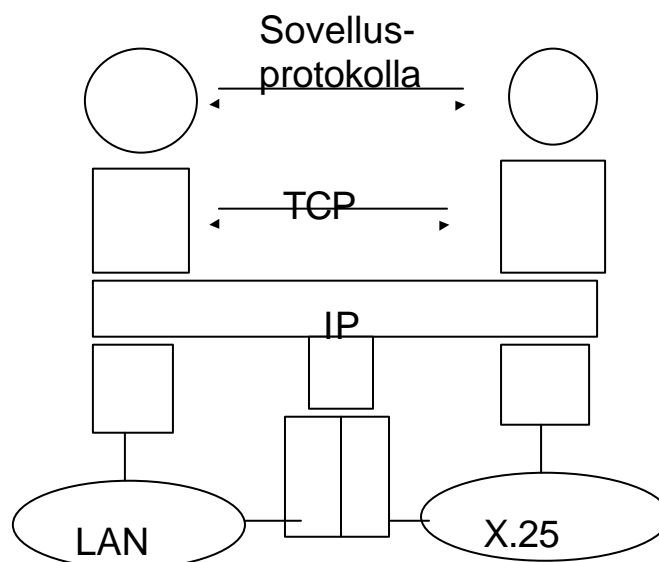
- **IP-protokolla**

- verkkotason protokolla, joka pitää Internetin koossa
- tavoite: kuljettaa paketti (datasähke, datagram) lähteestä kohteeseen yli kaikkien välissä olevien erilaisten verkkojen

12.10.2001

61

◦ ◦ ◦ ◦ ◦ ◦ ◦ ◦



IP-protokolla

- **IP-datasähke**

- otsake
- dataosa

- **otsake**

- 20 tavun kiinteä osa
 - tunnistetiedot, pituustiedot, tarkistusbitit (-summa)
 - osoitteet, minkä kuljetusprotokollan sanoma
 - liian pitkän paketin paloittelu ja kokoaminen
 - erilaisen palvelun tarjoaminen eri sovelluksille
- vaihtelevan mittainen valinnainen osuus
 - lisäoptioita

12.10.2001

63

Versio	IHL	TOS	Datasähkeen pituus (tavuja)	
Tunniste			Flag	Siirtymä
Elinaika	Protokolla		otsakkeen tarkistussumma	
Lähettäjän IP-osoite				
Vastaanottajan IP-osoite				
Optiot (jos on käytössä)				
data				

IPv4 - datasähke

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät

- **Versio IPv4 (IPv6)**
- **IHL**
 - otsakkeen pituus vähintään viisi 32 bitin sanaa (20-60 tavua)
- **type of service**
 - kertoo halutun palvelun
 - nopeus, luotettavuus, kapasiteetti
 - ääni <-> tiedostonsiirto
 - yleensä ei käytössä (käytössä uusissa Cisco-reitittimissä)

12.10.2001

65

- o
- o
- o

Type of service -bitit:

- **presedence-kenttä** (3 bittiä)
 - sanoman **prioriteetti** 0-7
 - 0 normaali
 - 7 verkon valvontapaketti
- **D-bitti, T-bitti, R-bitti**
 - mikä on tärkeää yhteydessä
 - D: viive (Delay),
 - T: läpimeno (Throughput)
 - R: luotettavuus (Reliability)
- lisäksi vielä 2 käyttämätöntä bittiä

12.10.2001

66

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- o
- o
- o

- **Datagram length**

- koko datäsähkeen pituus
- maksimi 65535 tavua
 - maksimipituus vielä riittävä, mutta tulevaisuuden nopeille verkoille jo ongelma
- yleensä koko 576 -1500 taavua

- o
- o
- o

- **Identification**

- datäsähkeen numero
- kaikissa saman datäsähkeen osissa sama tunnus

12.10.2001

67

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat: liput

- o
- o
- o

- **DF- bitti (Don't fragment)**

- kieltää paloittelun
- esim. jos vastaanottaja ei kykene kokoamaan datäsähköä

- o
- o
- o

- **MF-bitti (More fragments)**

- ilmoittaa, onko datäsähkeen viimeinen osio vai tuleeko vielä lisää

12.10.2001

68

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- **Fragment offset**

- osion paikka datasähkeessä
- osioiden oltava 8 tavun monikertoja (paitsi viimeisen)
- 13 bittiä => korkeintaan 8192 osiota yhdessä datasähkeessä

- **lisäksi 1 käyttämätön bitti**

12.10.2001

69

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- **Time to live**

- rajoittaa paketin elinaikaa
- maksimi 255 sekuntia
- vähenee
 - joka hypyllä reitittimestä toiseen
 - myös odottaessaan reitittimessä (ei yleensä)
 - paketti hävitetään, kun laskuri menee nolille

- **Protocol**

- mille kuljetuskerrokselle kuuluu

12.10.2001

- esim. TCP- tai UDP-siirtoon kuuluva

70

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- o
- o
- o

- **Header checksum**

- tarkistussumma lasketaan vain otsakkeelle
- 16-bitin sanat lasketaan yhteen yhden komplementin aritmetiikalla
- laskettava uudestaan joka reitittimessä

- o
- o
- o

- **Source address, Destination address**

- kohteen ja lähettäjän osoitteet muodossa
 - verkon numero ja isäntäkoneen numero
- = IP-osoite

12.10.2001

71

- o
- o
- o

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- o
- o
- o

- **Options**

- vaihtelevan mittaisia
 - 1. tavu kertoo option koodin
 - voi seurata pituuskenttä
 - datakenttiä
 - täytettä jotta 4 tavun monikertoja
- käytössä 5 optiota
 - mutta reitittimet eivät välttämättä ymmärrä

12.10.2001

72

- o
- o
- o

Optiot

- **Security**
 - datasähkeen luottamuksellisuus ja salassapidettävyys
- **Strict source routing**
 - datasähkeen kuljettava tarkalleen annettua reittiä
- **Loose source routing**
 - kuljettava ainakin annettujen reitittimien kautta
- **Record route**
 - reitin varrella olevat reitittimet liittävät tunnuksensa
- **Timestamp**
 - tunnuksen lisäksi liitettävä myös aikaleima

12.10.2001

73

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

- o
- o
- o

4.5. IP-osoitteet

- **jokaisella verkon isäntäkoneella ja reitittimellä on oma yksikäsitteinen osoite muotoa**
 - verkon numero
 - isäntäkoneen (liitäntäkortin) numero
- **osoite on 32-bittinen**
 - osoitteen luokasta riippuen bitit jaetaan verkon numeroon ja isäntäkoneen numeroon eri tavoin
- **osoitteet palvelun tarjoajille jakaa ICANN**
(The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)
 - nämä puolestaan jakavat muille

12.10.2001

74

- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o
- o

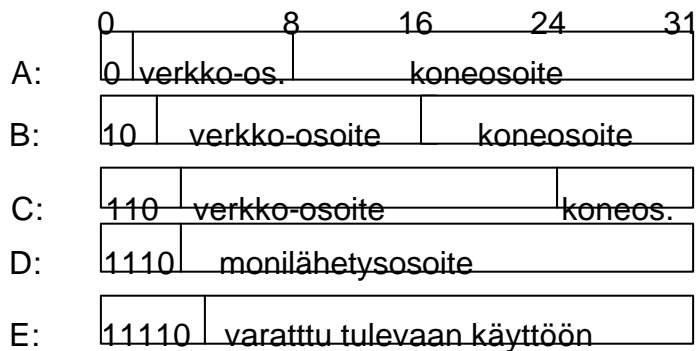
- o
- o
- o

• osoitteet merkitään yleensä desimaalimuodossa

- kukin osoitteen neljästä tavusta kirjoitetaan desimaalilukuna (0-255)
 - luvut erotetaan pisteellä
- esim.
- heksadesimaaliosoite C0 29 06 14 on 192.41.6.20
eli C0 => 192, 29 => 41, 06 => 6, 14 => 20
- pienin osoite on 0.0.0.0 ja suurin
255.255.255.255

12.10.2001

75



IP-osoitteiden muodot

(alkuperäinen luokallinen osoitus)

IP-osoitteiden luokat

- **A-luokka hyvin isoille verkoille**
 - 7 bittiä verkko-osoitteeseen, 24 bittiä isäntäkoneille
 - **126 verkkoa, 16 miljoonaa konetta/verkko**
- **B-luokka keskikokoisille verkoille**
 - 14 bittiä verkoille, 16 bittiä koneille
 - **16382 verkkoa, 65528 konetta/verkko**
- **C-luokka pienille verkoille**
 - 21 bittiä verkoille, 8 bittiä verkon koneille
 - **noin 2 miljoonaa verkkoa, 254 konetta/verkko**

12.10.2001

77

Osoiteluokkien ongelmia

- **verkon kasvu => ongelmia**
 - C-luokan verkossa max 256 osoitetta
 - liian vähän useimmille yrityksille => tarvitsevat B-luokan osoitteen tai monta C-luokan verkko-osoitetta
 - B-luokan verkkoja liian vähän (max 16382) ja niissä liian paljon osoitteita (max 65536)
 - 100000 verkkoa jo 1996!
 - useassa B-verkossa alle 50 konetta
- **=> B-luokan osoitteita tuhlaantuu ja osoitteista pulaa**

12.10.2001

78

CIDR (Classless InterDomain Routing)

- verkko-osa voi olla minkä tahansa kokoinen (ei vain 8,16,24 bittiä)
 - a.b.c.d/x, jossa x ilmoittaa verkko-osan bittien lukumäärän
 - esim. yritykselle, jolla 2000 konetta varataan $2048 = 2^{11}$ koneosoitetta, jolloin verkko-osaa varten jää 21 bittiä
 - C-luokan verkkoja
 - yritys voi itse vielä jakaa koneosoitteen 11 bittiä aliverkko-osoitteeksi ja koneosoitteeksi

12.10.2001

79

CIDR-idea jatkuu

- **jaetaan osoitteet neljään osaan, kukin osa varataan yhdelle maanosalle (Eurooppa, Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, Aasia+Pasific)**
 - kullekin noin 32 miljoonaa osoitetta
 - 320 miljoonaa jää vielä varastoon
- **reititetään myös maanosien mukaan**
 - osoitteet: 194.0.0.0 - 195.255.255.255 Eurooppaan
- **=> pienemmät reititystaulut**

12.10.2001

80

Muita Internet-protokollia

- **ICMP (Internet Control Message Protocol)**
 - verkon koneiden (reitittimien ja isäntäkoneiden) kommunikointiin esim. virhetilanteissa
- **ARP (Address Resolution Protocol)**
 - protokolla lähiverkon koneen verkko-osoitteen selvittämiseksi
- **OSPF (Open Shortest Path First)**
 - linkkilareititykseen perustuva reititysprotokolla
- **BGP (Border Gateway Protocol)**
 - eri alueiden välinen reititysprotokolla
- **IPv6**
 - uudempi versio IP-protokollasta
- **Näitä käsitellään Tietoliikenne II -kurssilla**

12.10.2001

81

IP-paketissa on vain vastaanottajan IP-osoite

A

B:n verkko-osoite

..128.214.4.29..

B

Pitää saada selville IP-osoitetta vastaava verkko-osoite.

Yleislähetyksenä kysely: "Kenen IP-osoite?"

Jokaisella koneella oma ethernet-osoite (48 bittiä), jota käytetään MAC-kehysessä