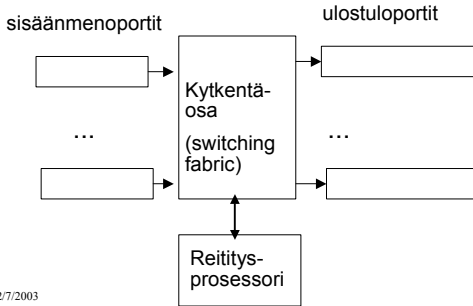


Reitittimen rakenne

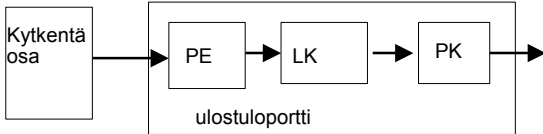
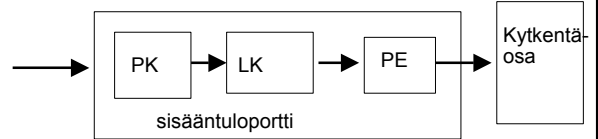


2/7/2003

43

• Portit

- **peruskerroksen toiminnot (PK)**
 - fyysisen siirtöyhteyden pää
- **linkkikerroksen toiminnot (LK)**
 - virhetarkistukset, vuonvalvonta,
 - MAC-kerroksen toiminnot
- **pakettien edelleenohjaaminen (PE)**
 - datapaketit kytkentäverkoston kautta oikeaan ulostuloporttiin
 - valvontapaketit (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.

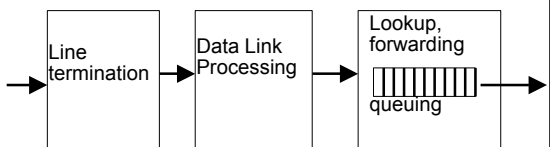
• Reititysprosessori

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

• Kytentäosa

- yhdistää paketin sisään- ja ulostuloportteihin
- paketti siirtyy oikeaan verkkoon
- täysin reitittimen sisällä

46



Sisääntuloportin toiminta

Etsitään reititustaulusta kohdeosoitetta vastaava ulosmenoportti.

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

Muuten paketti ohjataan reititysprosessorille, joka etsii reititustaulusta 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

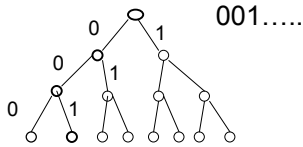
- talletetaan reititaulun alkiot puurakenteina

2/7/2003

48

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 saant nopeus rajoittaa toimintaa

• nykyiset reitittimet

- käyttävät linjakortin omia prosessoreita

2/7/2003 • Memory shared multiprocessors

50

• Kytkentä väylän kautta

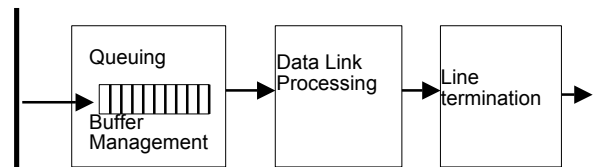
- sisääntuloportit siirtävät paketin väylän kautta suoraan oikeaan ulosmenoporttiin
- vain yksi paketti kerrallaan voi kulkea väylässä
- jos väylä on varattu, paketti joutuu odottamaan
- väylän nopeus rajoittaa kytkentänopeutta
 - Gbps nopeudet riittävät LANeille ja yritysverkoilla

• 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



2/7/2003

52

Jonotus reitittimessä

• Sekä sisäänmeno- että ulostuloporttiin voi syntyä jonoa

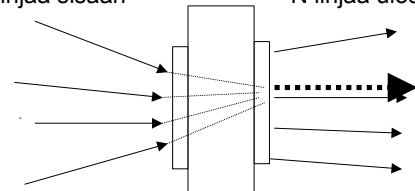
- näissä jonoissa reititin voi kadottaa paketteja, kun puskuritila ei enää riitä
- se kummassa jonossa paketit katoavat, riippuu kytkimen ja linjan nopeuden suhteista
- jonoa voi syntyä myös, koska useasta lähteestä pyritään samaan kohteeseen

2/7/2003

53

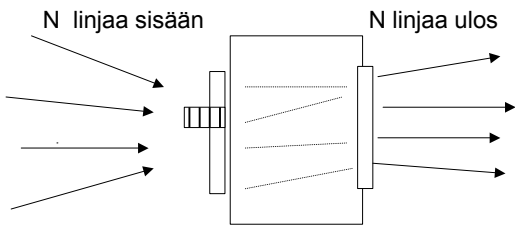
N linjaa sisään

N linjaa ulos



Kytkin toimii riittävällä nopeudella, joten sisääntulossa ei tarvitse jonottaa.

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



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

2/7/2003

56

• ongelmana on erilaisten toiminnallisuuden yhteensopivuus

- luotettavuus
- ruuhkan valvonta
- kuittaukset
- toimitusaikatakuut

2/7/2003

57

Yhteydettömien verkkojen yhdistäminen

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

2/7/2003

58

Pakettien paloittelu (fragmentation)

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

2/7/2003

59

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

2/7/2003

60

Pakettien kokoaminen

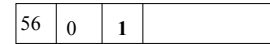
- **edellyttää palojen 'numerointia'**
 - on tiedettävä, minkä paketin mikä osa on kyseessä
- **kaikissa paloissa alkuperäisen paketin tunnistus + sijainti paketissa**
 - sijainti: pakettiin kuuluvan ensimmäisen tavun sijainti alkuperäisessä paketissa
- **lisäksi tieto, onko pala paketin viimeinen**

2/7/2003 • tai tiedettävä paketin pituus

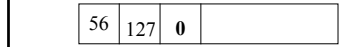
61



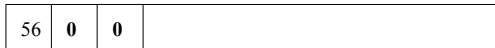
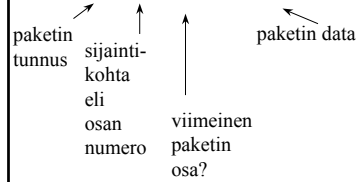
alkuperäinen paketti



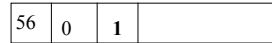
paketin alkuosa



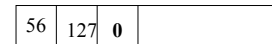
paketin loppuosa



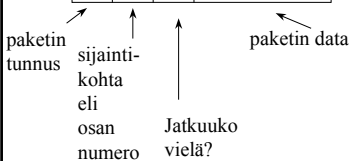
alkuperäinen paketti



paketin alkuosa



paketin loppuosa



4.4. Internetin verkkokerros

• Internet

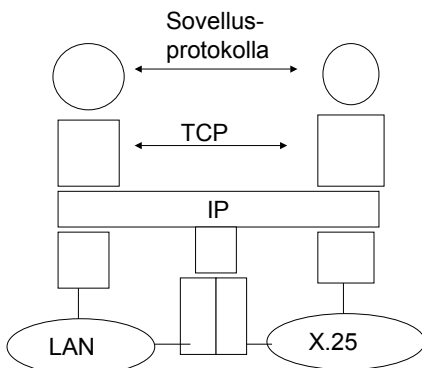
- on kokoelma 'itsenäisiä' aliverkkoja eli autonomisia järjestelmiä (AS, Autonomous Subsystem)
- joita yhdistää runkolinjat

• IP-protokolla

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

2/7/2003

64



IP kuljettaa lähdekoneelta kohdekoneelle

• Tässä tehtävässä tarpeen:

- Osoitteet (lähettäjä, vastaanottaja)
- tieto kuljetuserroksen protokollasta
- liian ison datasähkeen paloittelu
- 'eksyneiden' pakettien hävittäminen (time-to-live)
- tarkistukset (checksum)

• Hyviä (?) lisäominaisuuksia

- kuljetuspalvelun eriyttäminen (type of service)
- läsipiirteitä: lähdereiitys, tieto kuljetusta reitistä,

2/7/2003

66

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

2/7/2003

67

versio	otsak. pituus	TOS	datasähkeen pituus	
Tunniste			Flag	Siirtymä
Elinäika	protokolla	otsakkeen tarkistussumma		
Lähtetäjän IP-osoite				
Vastaanottajan IP-osoite				
Optiot (jos on käytössä)				
data				

IPv4 - datasähke

IP-otsakkeen kentät

- **Versio IPv4 (IPv6)**
- **IHL**
 - otsakkeen pituus vähintään viisi 32 bitin sanaa (20-60 tavua)
- **type of service (8 bittiä)**
 - kertoo halutun palvelun
 - nopeus, luotettavuus, kapasiteetti
 - ääni <-> tiedostonsiirto
 - yleensä ei käytössä (käytössä uusissa Cisco-reitittimissä)

2/7/2003

69

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**

2/7/2003

70

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

- **Datagram length**
 - koko datasähkeen pituus
 - maksimi 65535 tavua
 - maksimipituus vielä riittävä, mutta tulevaisuuden nopeille verkoille jo ongelma
 - yleensä koko 576 -1500 tavua
- **Identification**
 - datasähkeen numero
 - kaikissa saman datasähkeen osissa sama tunnus

2/7/2003

71

IP-otsakkeen kentät jatkuvat: liput

- **DF- bitti (Don't fragment)**
 - kieltää paloittelun
 - esim. jos vastaanottaja ei kykene kokoamaan datasähkettä
- **MF-bitti (More fragments)**
 - ilmoittaa, onko datasähkeen viimeinen osio vai tuleeko vielä lisää
- Lisäksi yksi käyttämätön bitti

2/7/2003

72

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

• Fragment offset

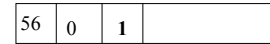
- osion paikka datasähkeessä
- osioiden oltava 8 tavun monikertoja (paitsi viimeisen)
- 13 bittiä => korkeintaan 8192 osiota yhdessä datasähkeessä

2/7/2003

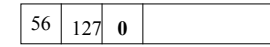
73



alkuperäinen paketti



paketin alkuosa



paketin loppuosa

↑
paketin
tunnus

↑
sijainti-
kohta
eli
osan
numero

↑
jatkuuko
vielä?

↑
paketin data

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

• Time to live

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

• Protocol

- mille kuljetuserrokselle kuuluu
 - esim. TCP- tai UDP-siirtoon kuuluva

2/7/2003

75

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

• Header checksum

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

• Source address, Destination address

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

2/7/2003

76

IP-otsakkeen kentät jatkuvat

• 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

2/7/2003

77

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

2/7/2003

78

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

2/7/2003

79

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

2/7/2003

80

	0	8	16	24	31
A:	0	verkko-os.		koneosoite	
B:	10	verkko-osoite		koneosoite	
C:	110	verkko-osoite		koneos.	
D:	1110	monilähetysosoite			
E:	11110	varattu tulevaan käyttöön			

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/verkkoC-luokka
- **C-luokka pienille verkoille**
 - 21 bittiä verkoille, 8 bittiä verkon koneille
 - noin 2 miljoonaa verkkoa, 254 konetta/verkko

2/7/2003

82

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**

2/7/2003

83

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

2/7/2003

84

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

2/7/2003

85

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
- **Reititysprotokollat:**
 - RIP (**R**outing **I**nformation **P**rotocol): etäisyysvektorireititys
 - OSPF (**O**pen **S**hortest **P**ath **F**irst): linkkiilareititys
 - BGP (**B**order **G**ateway **P**rotocol): eri AS:ien välinen reititysprotokolla
- **IPv6**
 - uudempi versio IP-protokollasta
- Näitä käsitellään Tietoliikenne II -kurssilla

2/7/2003

86

