

- o
- o
- o

Internet-reititys (Routing)

- **Verkkokerroksen tehtävänä on toimittaa data (paketit) lähettäjän koneelta vastaanottajan koneelle**
 - Välissä voi olla hyvin monimutkainen monista erilaisista aliverkoista koostuva verkko.
 - Internet, jossa miljoonia reitittämiä ja yli sata miljoonaa konetta, eri yritysten omistuksessa
 - 2.11.2000: 100. miljoonas 'host'
- **Miten tämä saadaan aikaiseksi?**

29.1.2001

1

- o
- o
- o

Verkkojen yhdistäminen (Internetworking)

(ss.396-406)

- **verkot erilaisia**
 - nyt ja aina
- **verkkoja yhdistävät**
 - toistin: bittien kopiointia
 - silta: kehys, store-and-forward, yhdistää LANeja
 - reititin: paketti, store-and-forward, erilliset verkot 'moniprotokolla'reitittimillä
 - kulj.kerr. yhdyskäyt.: tavuvirta kuljetuskerroksessa
 - sovelluskerr. yhdyskäyt.: sovelluksen tietoyksiköitä

29.1.2001

2

- o
- o
- o

puoliyhdyskäytävä (half gateway)

- **kun yhdistettävät verkot**
 - etäällä toisistaan
 - eri organisaatioissa
- **yhdyskäytävä jaetaan kahdeksi puolikkaaksi**
 - kumpikin puoli hoitaa omat asiansa
 - puolikkaat yhdistetty pelkällä johdolla
 - sovittava vain johdossa käytetty protokolla

29.1.2001

3

- o
- o
- o

silta

- tunnettava kehysotsikot
- ei tarpeen tietää hyötykuorman takana olevaa protokollaa
- **reititin**
 - tunnettava verkkoprotokolla
 - alakerran toimintatavoista ei väliä
- **käytännössä termejä käytetään vapaammin!**

29.1.2001

4

- o
- o
- o

Yhdistämisen vaikeus

- **ongelmana on erilaisten toiminnallisuuden yhteensopivuus**
 - luotettavuus
 - ruuhkan valvonta
 - kuittaukset
 - toimitusaikatakuut

29.1.2001

5

- o
- o
- o

Pakettien pirstominen (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)**

29.1.2001

6

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

29.1.2001

7

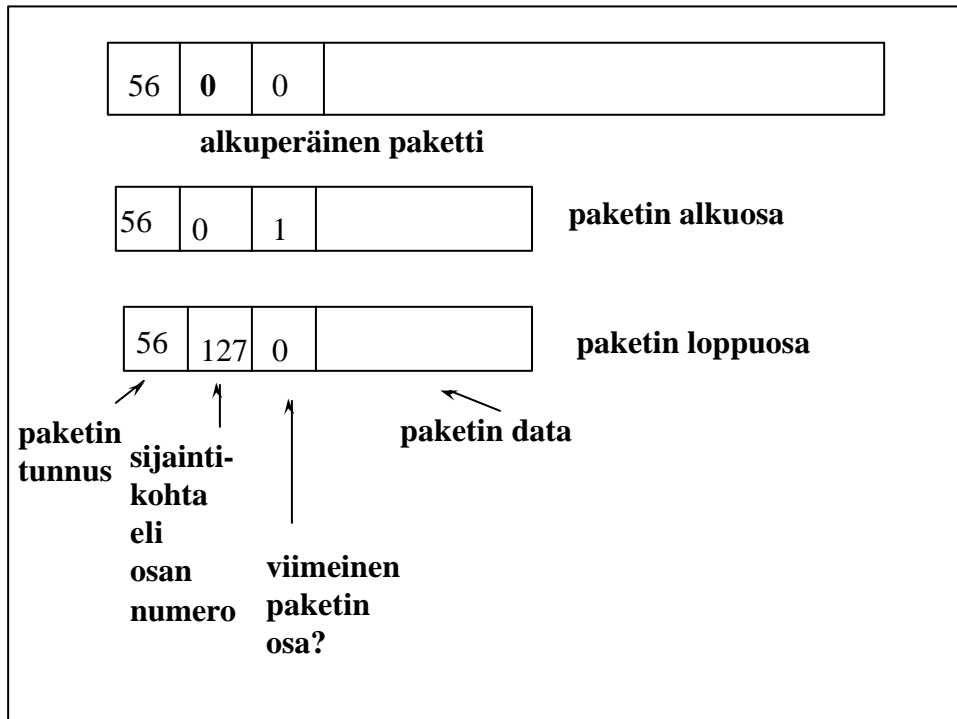
Pakettien kokoaminen

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

29.1.2001

• tai tiedettävä paketin pituus

8



Verkkojen yhdistäminen

- **virtuaalikanavien kytkentä**
 - virtuaalikanava lähettäjältä vastaanottajalle rakennetaan vaihe vaiheelta
- **tietosähkeverkkojen yhdistäminen**
 - verkkoon voi syöttää pakettaja, verkko yrittää toimittaa ne vastaanottajille
 - erilaiset verkkoprotokollat
 - osoittaminen
- **tunnelointi**
 - kahden samanlaisen verkon välillä
- **IP-protokolla => Internet**

- o
- o
- o

virtuaalikanavien kytkentä

- o
- o
- o

- **edellytys**

- löytyy reititys, jossa pystytään toteuttamaan 'päästä-päähän' - minimivaatimukset

- **sopivuus**

- sopii parhaiten, jos verkoilla suunnilleen samat ominaisuudet

- **samat edut ja haitat kuin virtuaalipiirillä**

29.1.2001

11

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

- o
- o
- o

Yhteydettömien verkkojen yhdistäminen

- **lähes samanlaiset verkkoprotokollat**

- hyvin erilaisia lähes mahdoton yhdistää

- **osoittaminen**

- IP: 32-bittinen osoite
- OSI: puhelinnumeron kaltainen osoite
- osoitteiden yhteensovittaminen?
- globaaliosoiteavaruus? standardi?

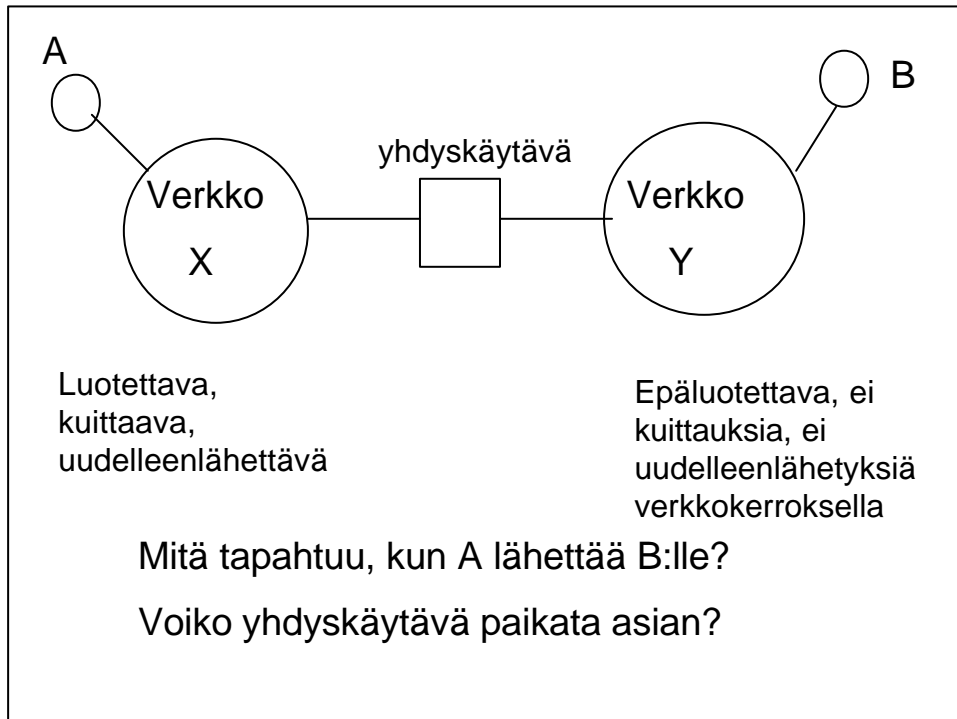
- **ainoa tapa yhdistää, jos verkossa ei ole virtuaalipiiriä**

- **entä kun useita erilaisia verkkoja?**

29.1.2001

12

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



o
o
o

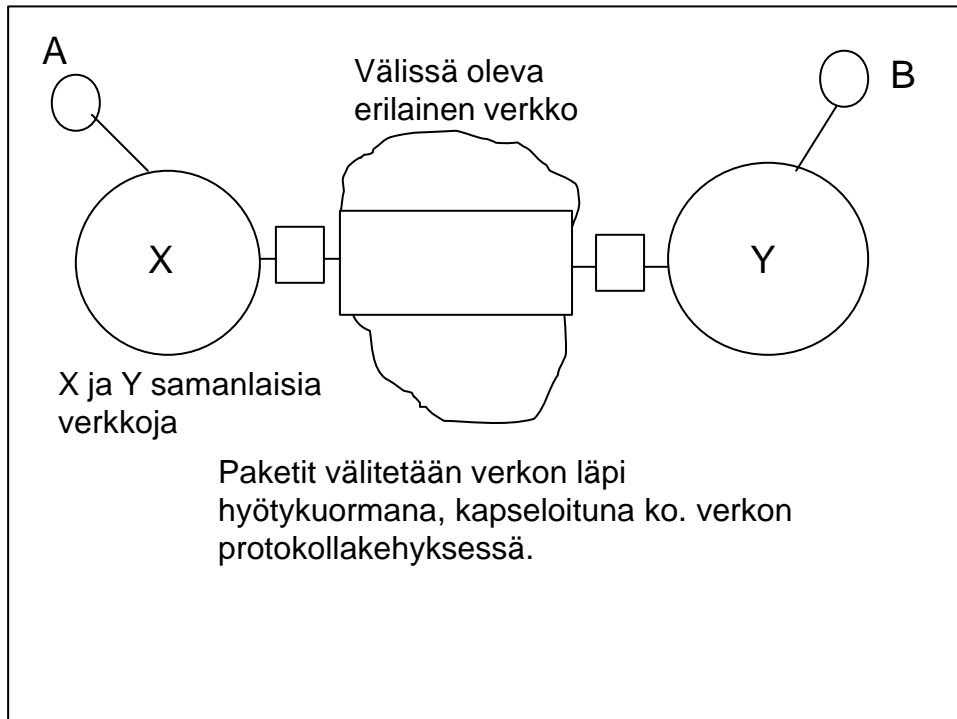
Tunnelointi (tunneling)

- **kohde- ja lähdeverkko samanlaisia, välissä erilainen verkko**
 - vain reititinpari näkee välissä olevan verkon
 - ~ iso tunneli niiden välissä
 - lähdeverkon paketti (esim. IP-paketti) kulkee välissä olevan verkon paketin sisällä hyötykuormana

29.1.2001

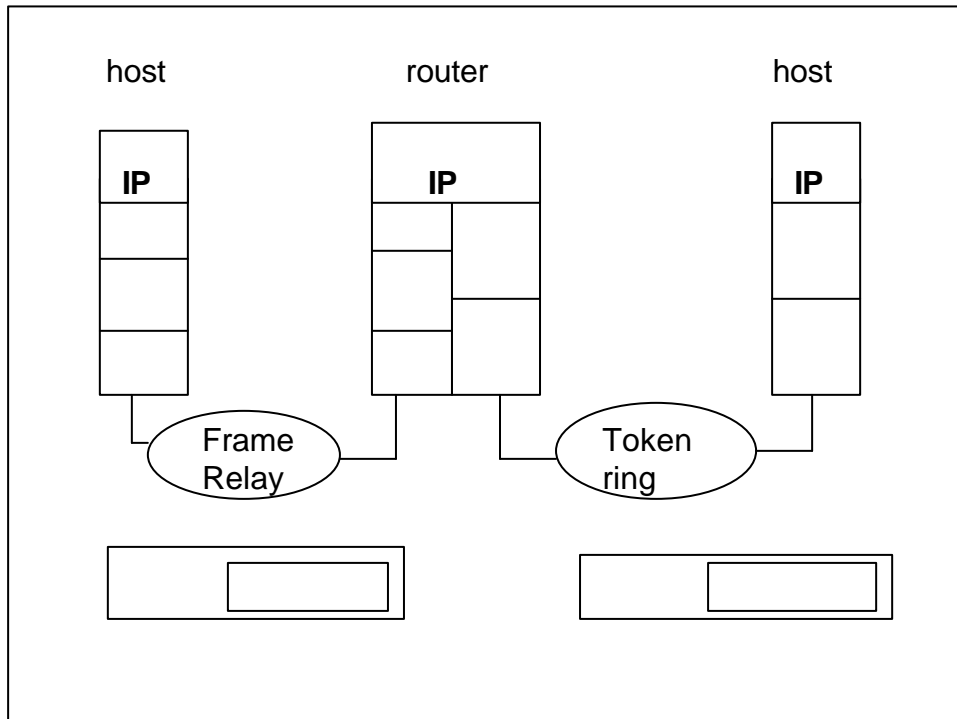
14

o o o o o o o o



Internet

- **Yhdistää hyvin erilaiset verkot yhteentoimivaksi kokonaisuudeksi**
 - kaikkien käytettävä samaa IP-protokollaa
 - kaikkien käytettävä samaa IP-osoitustapaa
- **verkkojen tarvitsee osata vain kuljettaa dataa lähettäjältä vastaanottajalle**
 - samantekevää kuinka sen tekee
 - verkko=> 'linkkiyhteys' tai tunneli



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 (datagram) lähteestä kohteeseen yli kaikkien tarpeellisten verkkojen

- o
- o
- o

Reititys Verkkokerroksen tärkein tehtävä

- **(hajautettu) päätöksenteko**
 - yhteydellinen: alussa
 - yhteydetön: jatkuvasti
- **system-wide fault tolerance**
- **jatkuvaa muutosta**
 - rikkoutuvat komponentit, muuttuva topologia
- **ristiriitaisia vaatimuksia**
 - optimaalisuus /reiluus (fairness)
- **suorituskyky**
 - mean packet delay, network throughput

29.1.2001

19

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

- **Koneilla ja reitittimillä yksikäsitteiset verkko-osoitteet**
 - IP-osoite: verkko ja koneen osoite verkossa
- **Muuttuvassa verkossa pystyttävä selvittämään kulloinkin parhaat reitit**
 - reititysalgoritmi, reititysprotokolla
- **reititin pystyy ohjaamaan seuraavaksi**
 - reititystaulu (routing table)

Reititysalgoritmit

- **mukautuva / mukautumaton** (adaptive / nonadaptive)
 - dynaaminen /staattinen
 - mittaukseen perustuva vai 'kirjanpito pohjainen'
 - suuri ero aikaskaalassa (sekuntej, minuutteja <=> päiviä, ihminen muuttaa)
- **optimaaliset reitit**
 - kaikista lähteistä annettuun kohteeseen
 - => puu, jonka juurena kohde
- **Ongelmia:**
 - reitittimien tietojen hankinta
 - verkko elää=> reitittimien tietojen ylläpito?

29.1.2001

21

Reititysalgoritmejä

- **Dijkstran reititysalgoritmi** (Shortest Path Routing)
 - yleisesti käytetty
- **tulvitus (flooding)**
- **satunnainen ('kuuma peruna', hot potato)**
- **Flow-Based Routing**

29.1.2001

22

- o
- o
- o

Flow-Based Routing

- **viive = jonotusaika + siirtoaika**
- **etsitään pienin mahdollinen viive koko verkolle**
- **tunnettava**
 - verkon topologia
 - kapasiteettimatriisi
 - liikennematriisi
 - alustava reititys

29.1.2001

23

- o
- o
- o

lasketaan

- kunkin linjan kuormitus λ_i
- keskim. pakettien määrä kullakin linjalla μC_i
 - keskim. pakettikoko = $1/\mu$. (esim. 800 bittiä)
- keskim viive kullekin linjalle
$$\mathbf{T = 1/(mC - l)}$$
 (jonoteoriasta)
 - $1/\mu$ = keskim. paketin koko bitteinä
 - C = kapasiteetti bps
 - λ = keskim. pakettivirta (kuormitus) paketteina sekunnissa

29.1.2001

24

- o
- o
- o

- **koko verkon viive**

- painotettu keskiarvo eri linkkien viipeistä
 - painotuksena linkin osuus koko liikenteestä

- **eri reititysalgoritmien vertailu**

- lasketaan erikseen kaikille reititysvaihtoehdoille
- valitaan ‘paras’

- **edellyttää kuormituksen pysyvän melko samanlaisena**

29.1.2001

25



- o
- o
- o

Yleisesti käytetyt reititysalgoritmit

- **etäisyysvektoreititys**

- Distance Vector Routing
- Bellman-Ford, Ford-Fulkerson
- ARPANETin alkuperäinen reititysalgoritmi
- Internetin RIP-algoritmi

- **linkkitilareititys**

- Link State routing
- ARPANETin reititysalgoritmi vuodesta 1979

29.1.2001

26



- o
- o
- o

Globaali reititysalgoritmi

- **Kullakin reitittimellä käytössään koko verkon informaatio**
- **tästä lasketaan hajautetusti tai keskitetysti parhaat reitit**
- **monimutkainen algoritmi**

29.1.2001

29

- o
- o
- o

Linkkitilareititys (Link State Routing)

- **reitittimen tehtävät**
 - selvitettävä naapurit ja niiden osoitteet
 - mitattava etäisyys / kustannus naapureihin
 - koottava tietopaketti ko. tiedoista
 - lähetettävä tietopaketti kaikille reitittimille
 - laskettava lyhin reitti kaikkiin muihin reitittimiin
- **kyseessä maailman laajuinen verkko**
 - kaikki häiriöt sattuvat
 - joskus ja jossain
- **vikasietoisuus**

29.1.2001

30

- o
- o
- o

ongelmia

- **väärin toimiva reititin**

- kertoo väärää tietoa
- ei välitä tietopaketteja
- väärentää tietopaketteja
- laskee reitit väärin

- **isossa verkossa aina joku toimii väärin**

- tavoitteena rajata ongelmat pienelle alueelle

29.1.2001

31

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

- o
- o
- o

Hierarkkinen reititys

- **reitityksen skaalautuvuus**

- isossa verkossa runsaasti reitittämiä
 - reititystaulut suuria
 - reittien laskeminen raskasta
 - tietopaketit kuluttavat linjakapasiteettia

- **hierarkiaa**

- jaetaan reitittimet ryhmiin (alueet, regions)
- kukin reititin tuntee kaikki alueensa sisällä
- tietää mikä reititin hoitaa liikenteen muihin

29.1.2001 alueisiin

32

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

IP-osoitteet

- jokaisella verkon isäntäkoneella ja reitittimellä on oma yksikäsitteinen osoite muotoa
 - verkon numero
 - isäntäkoneen numero
- osoite on 32-bittinen
 - luokallinen reititys (A-, B- ja C-luokan osoitteet)
 - CIDR (classless Interdomain Routing)
 - verkko-osan pituus vaihtelee : a.b.c.d/'pituus bitteinä'

29.1.2001

• 200.23.16.0/20

33

IP-osoitteiden jako

- **ICANN** (The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)
- the non-profit corporation that was formed to assume responsibility for the IP address space allocation, protocol parameter assignment, domain name system management, and root server system management functions previously performed under U.S. Government contract by IANA and other entities
- **Alueellinen jako**
 - APNIC Aasia
 - ARIN Amerikka + Etelä-Afrikka
 - **RIPE NCC** Eurooppa + lähialueet
 - näiden alla Internet-palvelujen tarjoajat (ISP Internet Service Provider)

29.1.2001

34

○
○
○

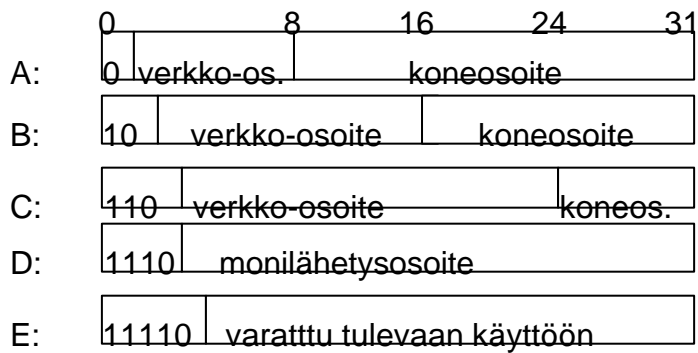
Osoitteiden antaminen koneille

- **Manuaalisesti**
- **DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)**
 - DHCP-palvelin antaa asiakkaalle dynaamisesti osoitteen
 - lähiverkoissa, PPP-yhteyksissä, liikkuville asemille

29.1.2001

35

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○



IP-osoitteiden luokkamuodot

- o
- o
- o

IP-osoitteiden luokkajako

- **A-luokka:** 126 verkkoa, 16 miljoonaa konetta/verkko
- **B-luokka:** 16382 verkkoa, 65528 konetta/verkko
- **C-luokka:** noin 2 miljoonaa verkkoa, kussakin korkeintaan 254 konetta
- **D-luokka:** monilähetysosoite
- **E-luokka:** varattu tulevaan käyttöön

- **Luokkajako osoittautui epäonnistuneeksi:**
 - C-luokassa koneita liian vähän => useita eri verkkoja
 - B-luokassa koneita liian paljon => hukkakäyttöä, B-osoitteet olivat loppua

29.1.2001

37

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

- o
- o
- o

Erikoisosoitteet

- 0 tarkoittaa omaa verkkoa tai omaa isäntäkonetta
 - **00000000000000000000000000000000**
 - oma isäntäkone ('minä itse')
 - **00 ... 000 | isäntäkoneen osoite**
 - isäntäkone omassa verkossa
- yleislähetykset
 - **11111111111111111111111111111111**
 - yleislähetys omassa verkossa
 - **verkko-osoite|1111 ... 1111**
 - yleislähetys toisessa verkossa

29.1.2001

38

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

- o
- o
- o

- osoitetta 0.0.0.0 käytetään vain, kun kone on juuri käynnistetty
- osoite testausta varten
 - 127.xx.yy.zz
 - paketteja ei lähetetä, käsitellään vastaanotettuina

29.1.2001

39

- o
- o
- o

C-osoitteiden käyttö

- **verkon kasvu => ongelmia**
 - kun tarvittiin lisää osoitteita => piti ottaa uusi verkko-osoite => yritykselle useita eri verkkoja
 - nimien/osoitteiden hallinta, reititys
 - konfiguraatiohallinta
 - koneen vaihto verkosta toiseen

29.1.2001

40

- o
- o
- o

Aliverkko-osoitteiden käyttö (subnets)

- **aliverkot B-osoitteiden avulla**
 - ulospäin verkko yhtenäinen, mutta sisäisesti jaettu aliverkkoihin
 - B-luokka => osa koneosoitteen biteistä aliverkon osoitteelle
 - verkonhallinta voi itse päättää aliverkko-osoitteiden jakamisesta

29.1.2001

41

- o
- o
- o

CIDR (Classless InterDomain Routing)

- **IP-osoitteiden riittävyys!**
 - C-osoitteita paljon, mutta koneosoitteita vain 256
 - B-osoitteessa koneosoitteita riittävästi, mutta B-osoitteita vain 65536!
 - 100000 verkkoa jo 1996!
 - useassa B-verkossa alle 50 konetta
- **reititystaulujen koon kasvaminen**
 - reitittimien tunnettava kaikki verkot
 - => laskennan monimutkaisuus,
 - => tietojenvaihto vie paljon resursseja

29.1.2001

42

CIDR-idea

- **varataan C-osoitteet peräkkäisinä lohkoina**
 - esim. 2000 osoitetta => varataan 8 peräkkäistä C-verkkoa (= $8 * 258 = 2048$)
- **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

29.1.2001

43

Paketin reititys

- **Reititys verkko-osoitteen perusteella**
 - Kun paketti saapuu reitittimeen, sen kohdeosoitteen verkko-osoite etsitään reititystaulusta ja nähdään, minne porttiin paketti tulee lähettää

Muihin verkkoihin

Verkko-osoite, 0	portti
------------------	--------

Omaan (omiin) verkkoihin

Oma verkko, host	portti
------------------	--------

29.1.2001

44

- o
- o
- o

- kun paketti saapuu, sen kohdeosoite etsitään reititystaulusta
 - jos etäverkko => seuraavalle reitittimelle
 - jos sama verkko => kohdekoneelle
- jos ei löydy reititystaulusta, ohjataan reitittimelle, joka tietää enemmän

29.1.2001

45

- o
- o
- o

- **Osoitteen luokka kertoo verkko-osoitteen bitit ja koneosoitteen bitit**
- **CIDR => verkko-osoitteen koko vaihtelee**
- **CIDR:n käyttö vaatii maskin, joka kertoo, mitkä bitit kuuluvat verkko-osoitteeseen ja mitkä koneosoitteeseen**
- **samoin aliverkko-osoitteita käytettäessä tarvitaan aliverkkomaski**

29.1.2001

46

Esimerkki CDR:n käytöstä

- **varataan osoitteet**

- Turun yliopisto 2048 osoitetta
 - 194.24.0.0 - 194.24.7.255 ja maski 255.255.248.0
- Helsingin yliopisto 4096 osoitetta
 - 194.24.16.0 - 194.24.31.255 ja maski 255.255.240.0
- Tampereen yliopisto 1024 osoitetta
 - 194.24.8.0 - 194.24.11.255 ja maski 255.255.255.0

- **talletetaan reititystauluihin**

- jokaisesta osoitteen alku eli kantaosoite ja maski

- **saapuva paketti esim. 194.24.17.4**

- AND-operaatio ensin Turun maskilla
- jos tuloksena Turun kantaosoite, menossa Turkuun
- muuten yritetään muita

Reititys aliverkko-osoitteita käytettäessä

- **Reititystaulussa**

- (muu_verkko, 0)
- (oma_verkko, muu_aliverkko, 0)
- (oma_verkko, oma_aliverkko, kone)

- **kukin reititin tietää**

- oman aliverkkonsa koneet,
- kuinka päästä muihin aliverkkoihin/verkkoihin

- **aliverkon maski**

- kertoo mitkä bitit ovat koneosoitetta, mitkä aliverkko-osoitetta

