

-
-
-

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 reitittäjiä ja yli sata miljoonaa konetta, eri yritysten omistuksessa
 - 2.11.2000: 100. miljoonas 'host'
- **Miten tämä saadaan aikaiseksi?**

-
-
-

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. yhdysk.: sovelluksen tietoyksiköitä

-
-
-

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

-
-
-

- **silta**

- tunnettava kehysotsikot
- ei tarpeen tietää hyötykuorman takana olevaa protokollaa

- **reititin**

- tunnettava verkkoprotokolla
- alakerran toimintatavoista ei väliä

- **käytännössä termejä käytetään vapaammin!**

-
-
-

Yhdistämisen vaikeus

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

-
-
-

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)**

-
-
-

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

Pakettien kokoaminen

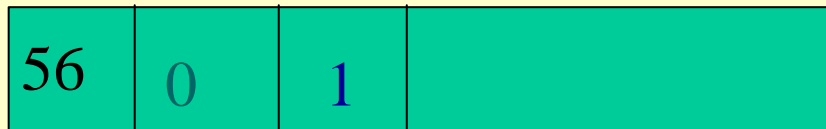
- **edellyttää palojen ‘numerointia’**
 - on tiedettävä, mikä paketin mikä osa on kyseessä
- **kaikissa paloissa alkuperäisen paketin tunniste + sijainti paketissa**
 - sijainti: pakettiin kuuluvan ensimmäisen tavun sijainti alkuperäisessä paketissa
- **lisäksi tieto, onko pala paketin viimeinen**

29.1.2001

- tai tiedettävä paketin pituus



alkuperäinen paketti



paketin alkuosa



paketin loppuosa

**paketin
tunnus**

**sijainti-
kohta
eli**

**osan
numero**

**viimeinen
paketin
osa?**

paketin data

-
-
-

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**

-
-
-

virtuaalikanavien kytkentä

- **edellytys**

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

- **sopivuus**

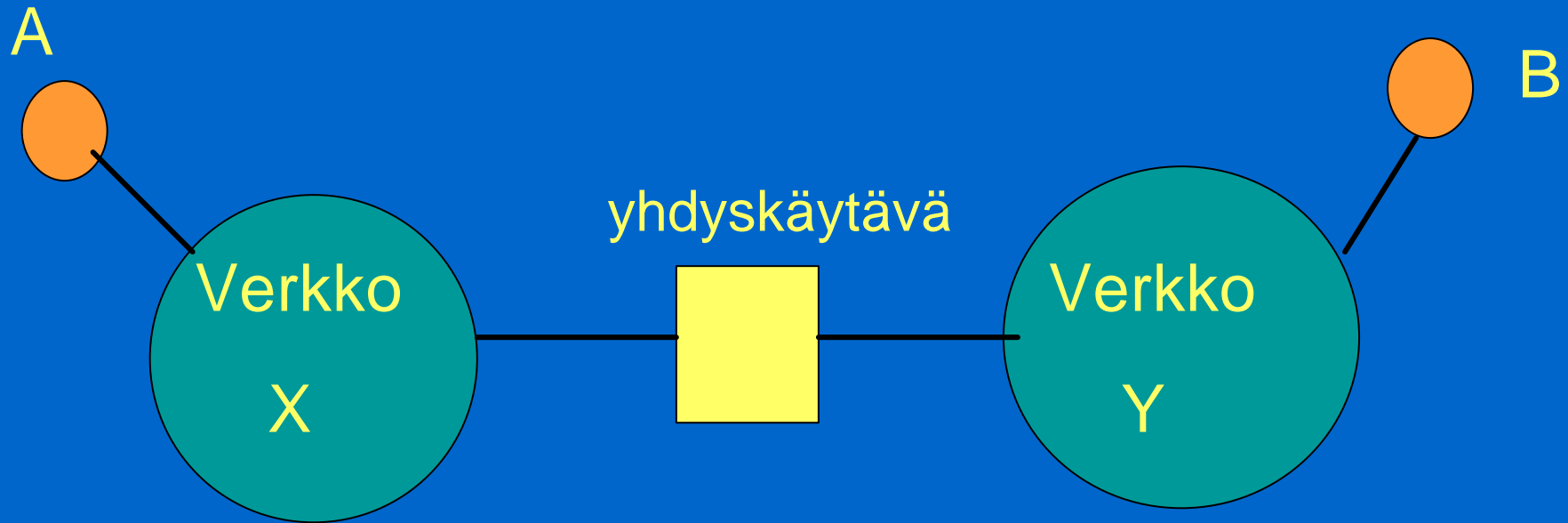
- sopii parhaiten, jos verkoilla suunnilleen samat ominaisuudet

- **samat edut ja haitat kuin virtuaalipiirillä**

-
-
-

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?**



Luotettava,
kuittaava,
uudelleenlähettävä

Epäluotettava, ei
kuittauksia, ei
uudelleenlähetyksiä
verkkokerroksella

Mitä tapahtuu, kun A lähettää B:lle?

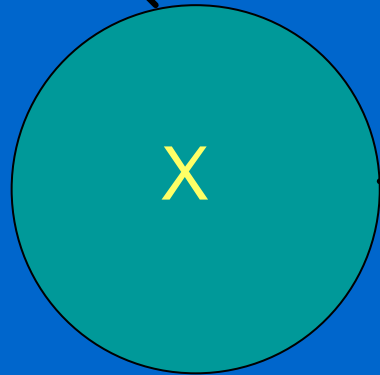
Voiko yhdyskäytävä paikata asian?

-
-
-

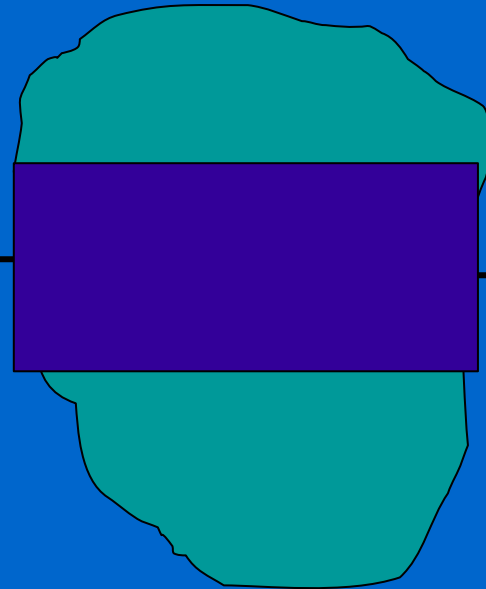
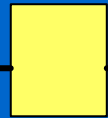
Tunnelointi (tunneling)

- **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

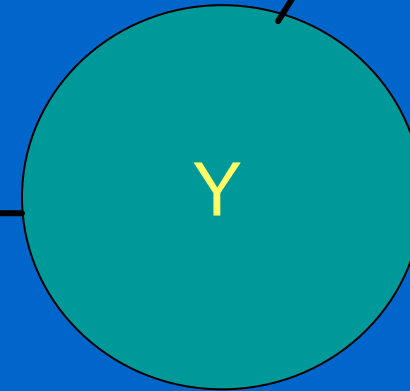
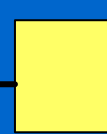
A



X



Välissä oleva
erilainen verkko



Y



B

X ja Y samanlaisia
verkkoja

Paketit välitetään verkon läpi
hyötykuormana, kapseloituna ko. verkon
protokollakehyksessä.

-
-
-

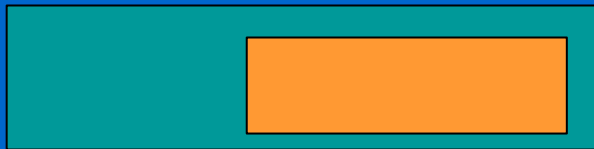
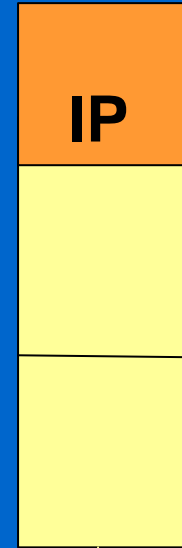
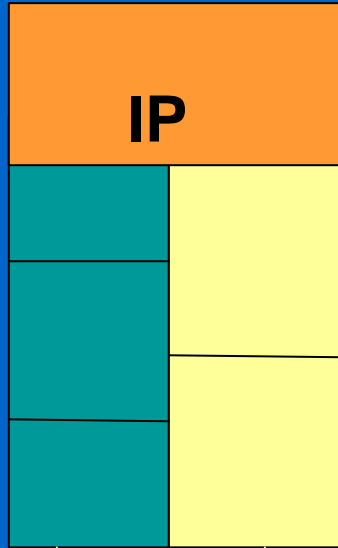
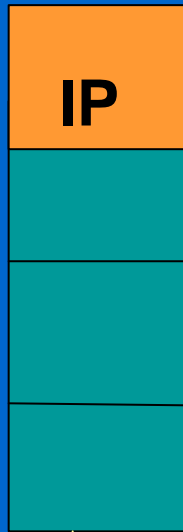
Internet

- **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

host

router

host



•
•
•

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

•
•
•

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

- **Koneilla ja reitittimillä yksikäsitteiset verkko-osoitteet**
 - IP-osoite: verkko ja koneen osoite verkossa
- **Muuttuvassa verkossa pystyttävä selvittämään kulloinkin parhaat reitit**
 - reititys algoritmi, 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?

-
-
-

Reititysalgoritmejä

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

•
•
•

Flow-Based Routing

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

-
-
-

lasketaan

- kunkin linjan kuormitus λ_i
- keskim. pakettien määrä kullakin linjalla μC_i
 - keskim. pakettikoko = $1/\mu$. (esim. 800 bittiä)
- keskim viive kullekin linjalle

$$T = 1/(\mu C - \lambda) \text{ (jonoteoriasta)}$$

$1/\mu$ = keskim. paketin koko bitteinä

C = kapasiteetti bps

λ = keskim. pakettivirta (kuormitus)

paketteina sekunnissa

-
-
-

- **koko verkon viive**

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

- **eri reititys algoritmien vertailu**

- lasketaan erikseen kaikille reititysvaihtoehdoille
- valitaan ‘paras’

- **edellyttää kuormituksen pysyvän melko samanlaisena**

-
-
-

Yleisesti käytetyt reititysalgoritmit

- **etäisyysvektoreititys**

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

- **linkkilareititys**

- Link State routing
- ARPANETin reititysalgoritmi vuodesta 1979

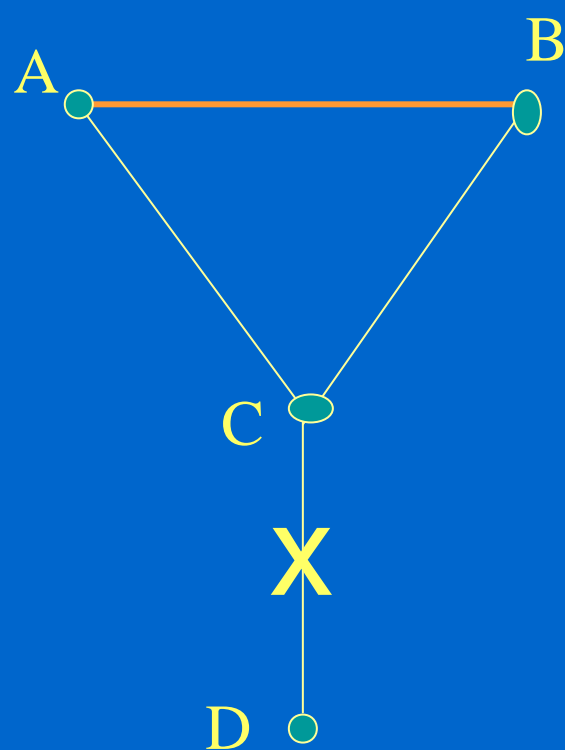
-
-
-

Etäisyysvektoreireitys

- **Solmut vaihtavat informaatiota vain naapuriensa kanssa**
- **Eri solmuilla eri näkemys verkosta**
 - hyvät uutiset etenevät nopeasti, huonot hitaasti
 - count- to-infinity,
 - simple split horizon : ei ilmoita naapurille sen kautta meneviä parhaita reittejä
 - Split horizon with poisoned reverse" ilmoittaa, mutta merkitsee ne äärettömiksi.

-
-
-

- **ratkaisu ei toimi aina**



Linkki CD katkeaa,
A ja B ilmoittavat C:lle
ettei D:hen pääse

C päättelee, että D:tä ei
voi saavuttaa

Kuitenkin A kuulee B:ltä,
että sillä on etäisyys 2
D:hen => oma etäisyys 3

•
•
•

Globaali reititysalgoritmi

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

-
-
-

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**

-
-
-

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

•
•
•

Hierarkkinen reititys

- **reitityksen skaalautuvuus**

- isossa verkossa runsaasti reitittimiä

- 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

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'

-
-
-

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)

-
-
-

Osoitteiden antaminen koneille

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



IP-osoitteiden luokkamuodot

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

•
•
•

Erikoisosoitteet

- 0 tarkoittaa omaa verkkoa tai omaa isäntäkonetta
 - **00**
 - oma isäntäkone ('minä itse')
 - **00 ... 000 | isäntäkoneen osoite**
 - isäntäkone omassa verkossa
- yleislähetykset
 - **11**
 - yleislähetys omassa verkossa
 - **verkko-osoite|11111 ... 11111**
 - yleislähetys toisessa verkossa

-
-
-

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

-
-
-

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

-
-
-

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

-
-
-

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

-
-
-

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

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
------------------	--------

-
-
-

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

-
-
-

- **Osoitteen luokka kertoi 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**

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

-
-
-

Aliverkkomaskin käyttö

- maskin avulla osoitteesta poistetaan koneosoite
 - AND-operaatio
- etsitään verkko-osoite reititystaulusta
- esim.

paketin kohdeosoite: 130.50.15.6

maski: 11 ...1 11111100 00000000

osoite: 00001111 00000110

AND: 00001100 00000000

tuloksena verkko-osoite: 130.50.12.0