

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

7.11.2001

1

## Reititys Verkkokerroksen tärkein tehtävä

- **(hajautettu) päätöksenteko**
  - yhteydellinen: alussa
  - yhteydetön: jatkuvasti
- **jatkuvaa muutosta, vikoja ja virheitä**
  - rikkoutuvat komponentit, muuttuva topologia
  - tästä huolimatta reitityksen toimittava
- **ristiriitaisia vaatimuksia**
  - optimaalisuus /reiluus (fairness)
- **suorituskyky**
  - mean packet delay, network throughput

7.11.2001

2

- **Koneilla ja reitittimillä yksikäsitteiset verkko-osoitteet**
  - IP-osoite: verkko ja koneen osoite verkossa
  - NAT (Network Address Translation)
- **Muuttuvassa verkossa pystyttävä selvittämään kulloinkin parhaat reitit**
  - reititysalgoritmi, reititysprotokolla
- **Reititin ohjaa reitillä eteenpäin**
  - reititystaulu (routing table)

## Reititysalgoritmit

- **mukautuva / mukautumaton (adaptive / nonadaptive)**
  - dynaaminen /staattinen
  - mittaukseen perustuva vai 'kirjanpitolohjainen'
  - suuri ero aikaskaalassa (sekunteja, minutteja  $\leftrightarrow$  päiviä, ihminen muuttaa)
- **optimaaliset reitit**
  - kaikista lähteistä annettuun kohteeseen
  - => puu, jonka juurena kohde
- **Ongelmia:**
  - reitittimien tietojen hankinta
  - verkko elää=> reitittimien tietojen ylläpito?

7.11.2001

4

## Reititysalgoritmeja

- **Dijkstran reititysalgoritmi (Shortest Path Routing)**
  - yleisesti käytetty
- **tulvitus (flooding)**
- **satunnainen ('kuuma peruna', hot potato)**
- **vuopohjainen reititys (Flow-Based Routing)**
  - network flow problem
  - ratkaistaan matemaattisesti

7.11.2001

## Vuopohjainen reititys (Flow-Based Routing)

- **viive = jonotusaika + siirtoaika**
  - etsitään pienin mahdollinen viive koko verkolle
- **tunnettava**
  - verkon topologia
  - kapasiteettimatriisi
    - eri linkkien kapasiteetti
  - liikennematriisi
    - eri solmujen välinen liikenne
  - alustava reititys

7.11.2001

6

- **lasketaan**

- **kunkin linjan kuormitus  $l_i$**
- **keskim. pakettien määrä kullakin linjalla  $mC_i$** 
  - keskim. pakettikoko =  $1/\mu$  . (esim. 800 bittiä)

- **keskim viive kullekin linjalle**

$$T = 1/(mC - 1) \text{ (jonoteoriasta)}$$

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

$C$  = kapasiteetti bps

$\lambda$  = keskim. pakettivirta (kuormitus) paketteina sekunnissa

- **koko verkon viive**

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

- **eri reititys algoritmien vertailu**

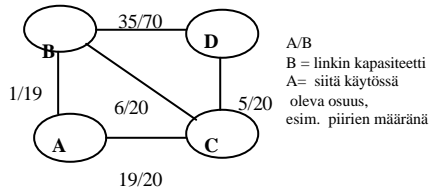
- lasketaan erikseen kaikille reititysvaihtoehdoille
  - mahdollinen, vaikka raskas
- valitaan 'paras'

- **edellyttää kuormituksen pysyvän melko samanlaisena**

- ei oikein sovellu koko ajan muuttuvaan verkkoon

## Piirikytkentäisten verkkojen reititys

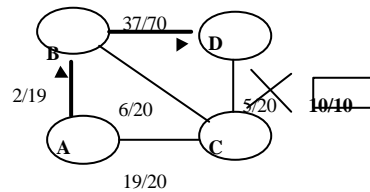
- **lyhyin polku (Shortest path first) (ABD tai ACD)**
- **vähiten kuormitettu polku (Least loaded path) (ABCD)**
- **eniten vapaita piirejä omaava polku (Maximum free circuit) (ABD)**



7.11.2001

- **Piirikytkentäisissä verkoissa**

- kaikki reitittimet tietävät kaikkien linkkien tilan
  - linkkitilatyypinen reititys
- tietojen oikeellisuus ja ajantasaisuus tärkeää



## Yleisesti käytetyt reititys algoritmit

- **Etäisyysvektorireititys (Distance Vector Routing)**
  - ARPA-verkon alkuperäinen reititys algoritmi
  - Internetin RIP-algoritmi
  - Ciscon IGRP ja EIGRP (mm. useita eri kustannusmittoja)
- **linkkitalareititys (Link State Routing)**
  - ARPA-verkon reititys algoritmi vuodesta 1979
  - Internetin OSPF-algoritmi
  - ISO:n IS-IS

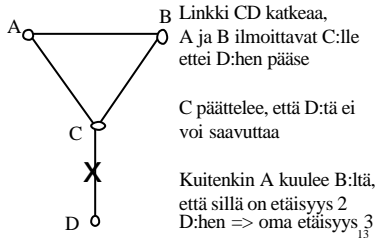
7.11.2001

## Etäisyysvektorireititys

- **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.

7.11.2001

**• ratkaisu ei toimi aina**



7.11.2001

**Reititysprotokollia**

**• RIP**

- etäisyysvektoreititys
  - autonomisen alueen sisäinen protokolla
  - naapurit vaihtavat reititystietoja keskenään
    - Counting to Infinity
    - Split Horizon
    - Triggered Updates
- RIPv1
- RIPv2
- RIPng

7.11.2001

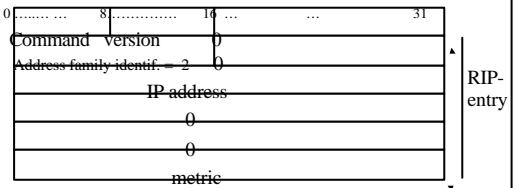
14

**RIP (RFC 1058)**

- **joka linkillä kustannus 1**
  - hyppyjä: 1-15 hyppyä
    - maksimi 15 => korkeintaan 15 hypyn matka mahdollinen
- **reititystietojen vaihto naapureiden kanssa**
  - RIP response message (advertisement)
    - yleislähetysenä (broadcast), jos mahdollista
  - n. 30 s välein. Jos naapuri ei lähetele 180 s sisällä, linkin oletetaan olevan poikki.
  - UDP-protokollaa käyttäen
    - RIP on toteutettu sovelluskerroksen prosessina ja siis sovelluskerroksen protokolla, joka käyttää UDP-porttia 520 sanomien lähettämiseen ja vastaanottoon

7.11.2001

**RIP-sanoman otsake**



**Command** = sanoman tyyppi: 1= pyyntö (request), 2 = vastaus (response)  
**Address family identifier** = peruja UNIX-BSD:ssä käytetystä osoitustavasta; ajatuksena toteuttaa RIP muihin osoitusmuotoihin (esim. X.25, XNS)  
**metric** = kustannus hyppyinä ; max. = 16 eli ääretön

7.11.2001

16

**RIP:n toiminta**

- **Normaalisti lähetetään vastauksia**
  - 30 sekunnin välein
  - kun omassa taulussa muutoksia
    - ei heti, kun oma taulu muuttuu; vasta 1-5 sekunnin kuluttua
- **Reititin käsittelee saamansa vastaukset yhden kerrallaan**

Kohteen osoite	etäisyysmitta	seuraava reititin	asken parivitetty	useita ajastimia
192.55.2.5	10	193.46.4.8	U(ppdated)	26

7.11.2001

- **Yhdessä sanomassa korkeintaan 25 alkion tiedot**
  - tarvittaessa useita peräkkäisiä sanomia
- **Reititistietopyyntö, kun reititin aloittaa toimintansa**
  - koko reititustaulun sisältö
    - 0.0.0.0 osoitteena (default osoite) ja kustannuksena 'ääretön'
    - normaali operaatio
  - tietyt reitit
    - kyselyssä ilmoitettuihin osoitteisiin
    - lähinnä vikojen selvittämisessä

7.11.2001

18

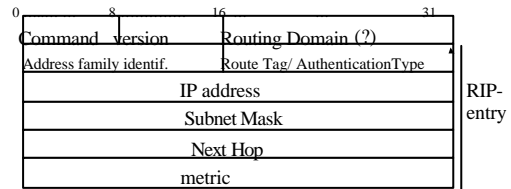
## RIP-2 (RFC 2453)

- **tehokkaampi koodaus**
  - ei turhien nollakenttien lähettämistä
- **aliverkkoreititys**
  - RIP-1: aliverkot eivät näy ulospäin
  - RIP-2: aliverkkomaski osoitteen mukana => CIDR
- **autentikointi**
  - RIP-1 luotti porttiin 520, jota sai käyttää vain etuoikeutettu käyttäjä
  - RIP-2: ensimmäinen alkio voi olla autentikointisegmentti
- **Next Hop, monilähetys**
  - RIP-1: yleislähetys

7.11.2001

19

## RIP-2-sanoman otsake



7.11.2001

20

## RIPng (RFC 2080) ja muita parannuksia

- **RIP-protokollan käyttö IPv6:n kanssa**
  - parannetut turvapiirteet
    - IPv6 turvapiirteet
  - pitemmät IP-osoitteet
- **päivitysten kuittaukset**
- **useiden eri kustannusmittojen käyttö**
- **“count-to-infinity”-ongelma**
  - ‘source-tracing’-algoritmi, joka etsii silmukat

7.11.2001

21

## Linkkitilareititys

- **Globaali reititysalgoritmi**
  - Kullakin reitittimellä käytössään koko verkon informaatio
  - tästä lasketaan hajautetusti tai keskitetysti parhaat reitit
  - monimutkainen algoritmi
    - => paljon laajempi standardi

7.11.2001

22

## 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**

7.11.2001

23

## 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

7.11.2001

24

## OSPF (Open Shortest Path First)

### • linkkitilaprotokolla

– tavoitteet:

- avoin (eli julkinen)
- erilaisia eäisyysmittoja
- dynaaminen algoritmi
- myös palvelutyypin perustava reititys
- kyettävä kuorman tasoittamiseen ja usean reitin käyttämiseen
- hierarkkinen reititys
- suojauspiirteitä
- myös tunneloinnilla yhdistetyt reitittimet

7.11.2001

25

## OSPF:n käyttöalueet:

- kahden reitittimen välinen kaksipisteyhteys
- monen reitittimen yleislähetysverkot
  - esim. useimmat lähiverkot (LAN)
- monen reitittimen verkot, joissa ei ole yleislähetystä
  - useimmat laajaverkot (WAN)

7.11.2001

26

## • Verkosta tehdään malli (suunnattu verkko)

- reitittimet ja verkot solmuina, niiden väliset linjat kaarina
- kaarilla kustannuksina etäisyys, kustannus, luotettavuus
- multiaccess-verkkoa vastaa oma solmu, josta kustannus reitittimeen on nolla

### • mallilla lasketaan lyhyin reitti kaikkien reititinparien välille

- eri etäisyysmittoille omat reitit

7.11.2001

27

## OSPF:n toiminta

### • reititystietojen vaihto hierarkista

- reitittimet vaihtavat reititystietoja vain ns. viereisten (adjacent) reitittimien kanssa
  - linkkitilaviestejä säännöllisin väliajoin ja topologian muuttuessa
  - viestit tulvitetaan
  - viestit numeroidaan
  - viestit kuitataan
- valittu (designed) välittäjäreititin
  - kommunikoi LAN:n tai alueen muiden reitittimien kanssa; kerää tiedot ja välittää ne eteenpäin

7.11.2001

28

## OSPF-sanomat

- hello
  - naapurien selvilleseminen
- link state update
  - omien linkkikustannusten lähettäminen
- link state ack
  - vastaanotettujen linkkikustannusten kuittaus
- database description
  - tietokannan ajantasaisuuden selvittäminen
- link state request
  - toisen linkkikustannusten kysyminen

7.11.2001

29

## Hierarkkinen reititys

- reitityksen skaalautuvuus
  - isossa verkossa runsaasti reitittimiä
    - reititystaulut suuria
    - reittien laskeminen raskasta
    - tietopaketit kuluttavat linjakapasiteettia
- hierarkkia
  - jaetaan reitittimet ryhmiin
    - autonominen alue (Autonomous systems, AS)
  - kukin reititin tuntee kaikki alueensa sisällä
  - tietää mikä reititin hoitaa liikenteen muihin alueisiin

7.11.2001

30