

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

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

- **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 'kirjanpitopohjainen'
 - suuri ero aikaskaalassa (sekunteja, minuutteja <=> päiviä, ihminen muuttaa)
- **optimaaliset reitit**
 - kaikista lähteistä annettuun kohteeseen
 - => puu, jonka juurena kohde
- **Ongelmia:**
 - reitittimien tietojen hankinta
 - verkko elää=> reitittimien tietojen ylläpito?

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

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

- **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 reititysalgoritmien vertailu**

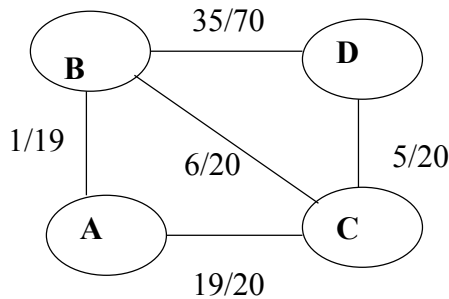
- lasketaan erikseen kaikille reititysvaihtoehdoille
 - mahdollinen, vaikka raskas
- valitaan ‘paras’

- **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)



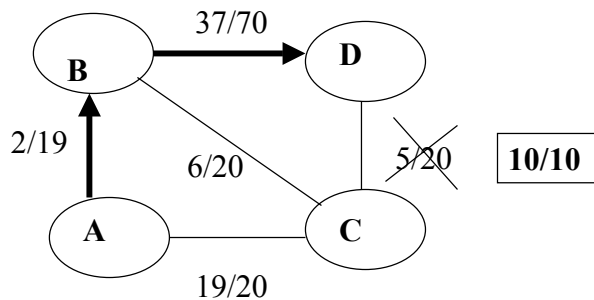
A/B
B = linkin kapasiteetti
A = siitä käytössä
oleva osuus,
esim. piirien määränä

10/8/2002

9

• Piirikytkentäisissä verkoissa

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



Yleisesti käytetyt reititysalgoritmit

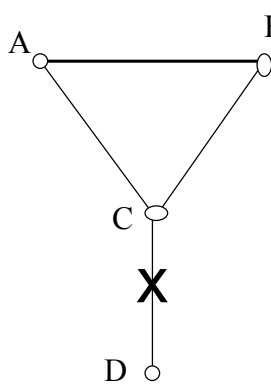
- **Etäisyysvektorireititys** (Distance Vector Routing)
 - ARPA-verkon alkuperäinen reititysalgoritmi
 - Internetin RIP-algoritmi
 - Ciscon IGRP ja EIGRP (mm. useita eri kustannusmittoja)
- **linkkitilareititys** (Link State Routing)
 - ARPA-verkon reititysalgoritmi vuodesta 1979
 - Internetin **OSPF**-algoritmi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

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.



• **ratkaisu ei toimi aina**



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

C pääättelee, että D:tä ei
voi saavuttaa

Kuitenkin A kuulee B:ltä,
että sillä on etäisyys 2
D:hen => oma etäisyys 3₁₃

Reititysprotokollia

• **RIP**

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

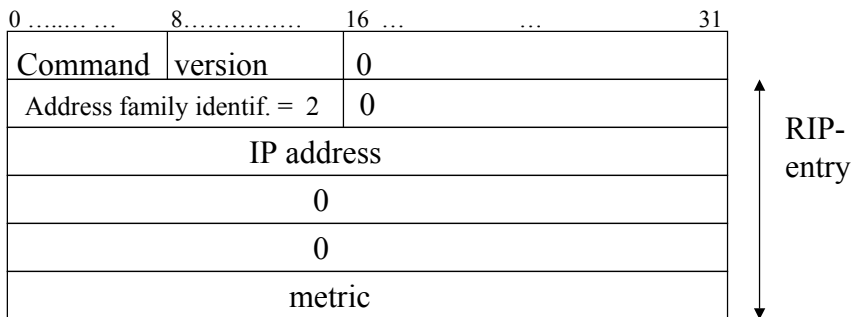
RIP (RFC 1058)

- **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

10/8/2002

15

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

10/8/2002

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	äskän päivitetty	useita ajastimia
192.55.2.5	10	193.46.4.8	U(ppdated)	26
.....

- **Yhdessä sanomassa korkeintaan 25 alkion tiedot**
 - tarvittaessa useita peräkkäisiä sanomia
- **Reititystietopyyntö, kun reititin aloittaa toimintansa**

- koko reititystaulun sisältö
 - 0.0.0.0 osoitteena (default osoite) ja kustannuksena 'ääretön'
 - normaali operaatio
- tietyt reitit
 - kyselyssä ilmoitettuihin osoitteisiin
 - lähinnä vikojen selvittämisessä

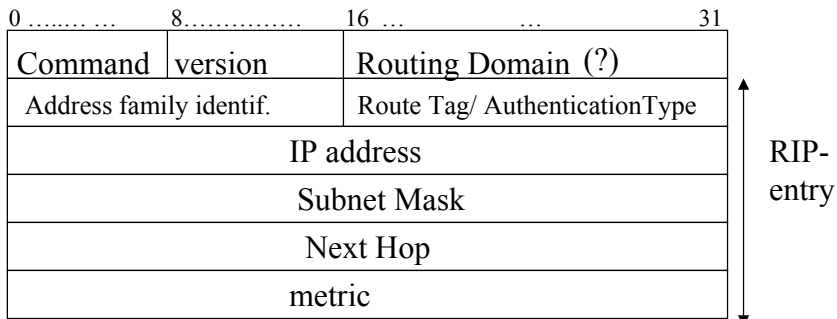
RIP-2 (RFC 2453)

- **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

10/8/2002

19

RIP-2-sanoman otsake



10/8/2002

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

10/8/2002

21

Linkkitilareititys

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

10/8/2002

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**

ongelmia

- **väärin toimiva reititin**
 - kertoo vääriä tietoja
 - ei välitä tietopaketteja
 - väärentää tietopaketteja
 - laskee reitit väärin
- **isossa verkossa aina joku toimii väärin**
 - tavoitteena rajata ongelmat pienelle alueelle

OSPF (Open Shortest Path First)

- **linkkitilaprotokolla**

- tavoitteet:

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

- **eri reitit voivat olla 'yhtä pitkiä'**

- => liikenne voidaan reitittää usean reitin yli
- => kuormituksen tasapainoitus

- **eikä välttämättä kaikkia paketteja lähetetä samaa reittiä**

- osa parasta reittiä
- osa toiseksi parasta

lopputulos voi olla parempi

OSPF:n käyttöalueet:

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

10/8/2002

27

• **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 etäisyysmitoille omat reitit

10/8/2002

28

OSPF:n toiminta

• reititystietojen vaihto

- linkkilaviestejä säännöllisin väliajoin ja topologian muuttuessa
 - viestit tulvitetaan, viestit numeroidaan, viestit kuitataan
- viestit ohjataan valitulle (designed) välittäjäreitittimelle
 - kommunikoi LAN:n tai alueen muiden reitittimien kanssa; kerää tiedot ja välittää ne eteenpäin
 - jokainen reititin ei lähetä jokaiselle, vaan omalle välittäjäreitittimelleen
 - vähentää viestien määrää: $n(n-1)/2 \implies 2(n-1)$, jos $n = 20$,
niin $20*19/2 = 190$ ja $2*19 = 38!$

10/8/2002

29

Välittäjäreititin

- **Välittäjä valitaan Hello-protokollalla**
- **välittäjäreititin vähentää tulvituspaketteja**
 - riittää ensin lähettää monilähetyksenä välittäjäreitittimille
 - osoite 224.0.0.6=> kaikille välittäjäreitittimille
 - tarvittaessa välittäjäreititin monilähettää kaikille OSPF-reitittimille (224.0.0.5)
 - Entä, kun välittäjäreititin kaatuu?
 - valitaan myös varavälittäjä, joka vastaanottaa monilähetykspaketteja, mutta ei vastaa mihinkään
 - välittäjän kaatuminen havaitaan Hello-protokollalla

10/8/2002

30

OSPF-sanomat

- **hello**
 - naapurien selvillesaaminen
- **link state update**
 - omien linkkikustannusten lähettäminen
- **link state ack**
 - vastaanotettujen linkkikustannusten kuittaus
- **database description**
 - tietokannan ajantasaisuuden selvittäminen
- **link state request**

10/8/2002 • toisen linkkikustannusten kysyminen

Hello-paketti

OSPF packet header, type = 1 (hello)		
Network mask		
Hello interval	options	priority
Dead interval		
Designated router		
Backup designated router		
Neighbor		
Neighbor		

Hello-paketin kentät

- **Network mask = liitännäkortin aliverkkomaski**
- **Hello interval = hello-sanomien lähetysväli**
- **Options:**
 - T-bitti => TOS-reitityskykyinen
 - E-bitti = ulkoisten reittien vastaanotto ja lähetys
- **Priority: reitittimen prioriteetti 0-255**
 - välittäjäksi korkeimman prioriteetin reititin;
 - jos sama arvo usealla, niin suurin ID-numero valitaan
- **Dead interval**
 - jos tässä ajassa ei tule hello-sanomaa, merkitään 'kuolleiden' listaan

Hello-paketin kentät jatkuvat

- **Designated router**
- **Backup designated router**
 - reititin ilmoittaa haluavansa toimia välittäjäreitittimenä tai varavälittäjäreitittimenä
 - valintaa suoritetaan jatkuvasti ja joka hello-sanomassa
 - reititin muistaa, ketkä ilmoittautuneet välittäjiksi

Hierarkkinen reititys

- **reitityksen skaalautuvuus**

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

- **hierarkiaa**

- jaetaan verkko ja sen reitittimet autonomisiin osiin
 - AS (autonomous system)
 - yritysten ja organisaatioiden omat verkot
 - “A set of routers and networks under the same administration.”
 - Kullakin AS:llä on oma 16-bittinen AS-numero.

Hierarkkisen reitityksen ongelmat

- **reitien pituus kasvaa**

- aina ei voida käyttää optimaalista reittiä
- yleensä siedettävä

- **hierarkiatasojen määrä**

- suorituskyky
- hallinto