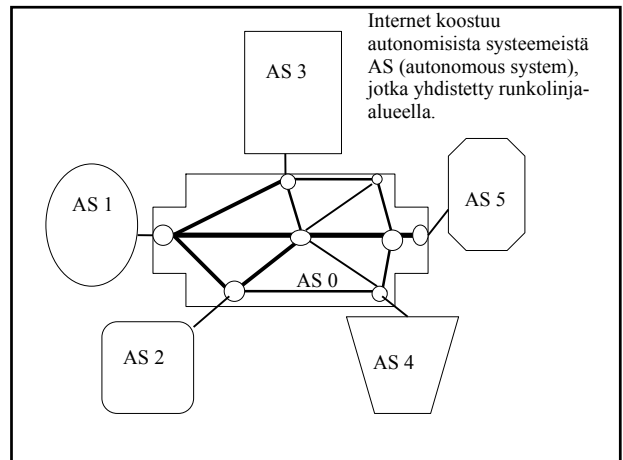


## 3.7. Internetin reititysprotokollista

- **AS (autonomous system)**
- **reititys AS:n sisällä** (Interior routing protocols)
  - RIP (Routing Information Protocol), RIP2, RIPng
    - etäisryysvektoreititysprotokolla
  - OSPF (Open Shortest Path First)
    - linkkitilareititysprotokolla
- **reititys AS:ien välillä** (Exterior gateway protocols)
  - BGP (Border Gateway Protocol)

18.9.2003

35



## 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?

18.9.2003

36

## Hierarkkinen reititys

- reitityksen skaalautuvuus
  - isossa verkossa runsaasti reitittämiä
    - reititystaulut suuria
    - reitien 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.

18.9.2003

39

## Autonominen järjestelmä (AS)

- Internet on kokoelma 'itsenäisiä' aliverkkoja eli autonomisia järjestelmiä (AS, Autonomous System)
  - yli 700 AS:ää 1994
- joita yhdistää runkolinjat
- AS:n sisällä IGP (Interior Gateway Protocol)
  - OSPF tai RIP
- alueiden välillä EGP (Exterior Gateway Protocol)
  - BGP (Border Gateway Protocol)

18.9.2003

37

## Yhden AS:n sisällä

- reitittimet käyttävät samaa reititysprotokollaa
  - OSPF, RIP, ...
  - Tärkeää on tehokkuus
- kukin reititin tuntee kaikki muut tämän AS:n reitittimet ja saa niiltä reititystietoja
- tietää mikä reititin tai mitkä reitittimet (gateway router) hoitavat liikenteen muihin AS:iin
  - AS:n yhdysreitittimet

18.9.2003

40

## AS:ien välillä

- **yhdysreitittimet vaihtavat reititystietoja eri AS:ien välillä**
  - käyttäen toisenlaista reititysprotokollaa
    - esim. BGP (Border Gateway Protocol)
  - Muut seikat kuin tehokkuus ovat tärkeämpiä
    - Toimintapolitiikkaan liittyvät
      - Luotettavuus ja turvallisuus
      - Lait ja määräykset
      - kustannukset

18.9.2003

41

## Erilaisia reitintyypppejä

- **sisäinen reititin**
  - alueen sisäisiä
- **alueen reunareititin**
  - sekä alueessa että runkolinjassa
- **runkolinjareititin**
  - runkolinjaan kuuluvia
- **AS:n yhdysreititin**
  - runkolinjan reitin, joka on yhteydessä muiden AS:ien reitittämiin

18.9.2003

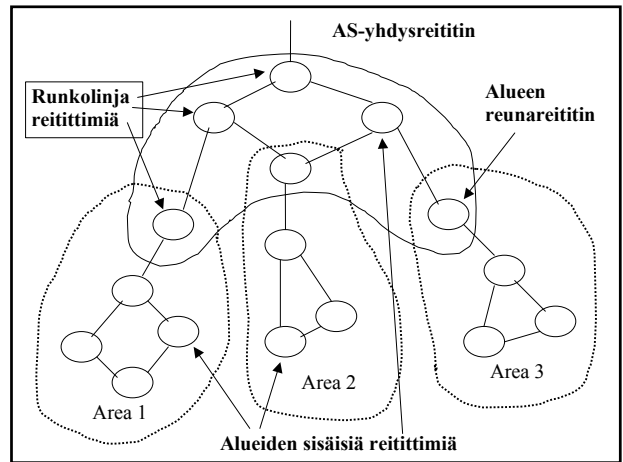
44

## AS:ien alueet

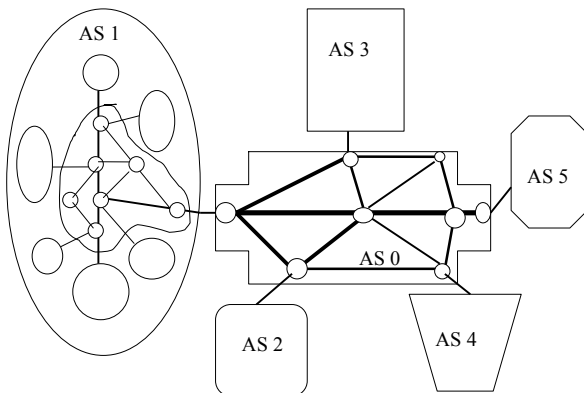
- **Monet AS:t ovat usein hyvin laajoja**
  - => voidaan jakaa alueiksi (areas)
    - verkko tai verkkojoukko
    - alueen ulkopuolella sen topologia ei näy
    - jokainen alue laskee omat reititystietonsa
      - sama algoritmi, mutta eri kopio ja eri tilatiedot
- **jokaisessa AS:ssä runkolinja-alue**
  - **alue 0**
  - kaikki alueet kiinni runkolinjassa ja liikenne alueelta toiselle käy aina runkolinjan kautta

18.9.2003

42



Iso AS voi koostua useasta alueesta.



## Reitittimien toiminta

- **Alueen sisällä kaikilla reitittimillä**
  - sama linkkitilietokanta
  - sama lyhimmän polun algoritmi
- **reititin laskee lyhimmän polun kaikkiin muihin alueen reitittämiin**
- **Alueiden välillä**
  - reitittimillä on useita kopioita samasta reititysalgoritmista
    - yksi kutakin aluetta varten

18.9.2003

46

## AS:ien välillä

- AS:eissä voidaan käyttää erilaisia reititysprotokollia
  - linkkitilareititystä tai etäisyysvektorireititystä
    - eri metriikat
    - erilaiset tavat kerätä ja vaihtaa tietoja
  - tarvitaan jokin yhteinen reititysprotokolla, jolla yhdysreitittimet voivat vaihtaa reititystietoja
    - esim. BGP

18.9.2003

47

## AS:n rajareititin

- vaihtaa reititystietoja muiden AS:ien rajareitittimien kanssa
- välittää muille reitittimille
- AS:ien välillä käyttää BGP-reititystä

18.9.2003

50

## Reitittimien toiminta

### reititin

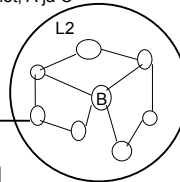
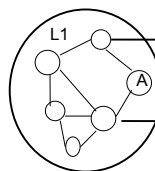
- tulvittamalla tai vaihtamalla tietoja naapureittensa muiden välittää alueensa kaikille muille reitittimille
  - naapurinsa
  - kustannustiedot (monta erilaista)
  - joko suoraan tai välittäjäreitittimien avulla
- muodostaa etäisyysverkon ja laskee lyhimät reitit
  - alueensa /alueittensa sisällä

18.9.2003

48

A:n viereiset reitittimet:  
kaikki L1:n reitittimet, B ja D

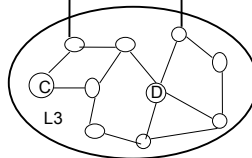
B:n viereiset reitittimet: kaikki L2:n reitittimet, A ja C



A, B, C ja D  
välittäjäreitittämiä

C: osa L3:n reitittimistä, D ja B

D: loput L3:n reitittimistä, C ja A



Hierarkkinen reititystietojen vaihto

### runkoverkon reititin lisäksi

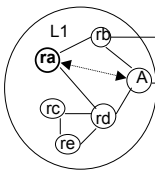
- saa alueiden reunareitittimiltä tietoja, joista laskee parhaat reitit runkoverkon reitittimistä kaikkiin muihin reitittimiin
- palauttaa tiedot reunareitittimille, jotka levittävät ne alueensa sisäisille reitittimille
- alueen sisäinen reititin
  - reititys alueen sisällä
  - alueiden välillä => sopiva runkoverkon reititin

18.9.2003

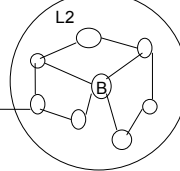
49

ra mittaa etäisyydet naapureihinsa rb:hen ja rd:hen ja lähettää tiedot A:lle

E on AS-yhdysreititin, joka tietää reitit muihin AS:iin



A saa tiedot etäisyyksistä kaikeista L1:n reitittimiltä ja välittää tiedot muille => ra osaa laskea etäisyydet muihin L1:n reitittimiin



A saa myös tiedot muiden alueiden etäisyyksistä B:ltä ja D:ltä => ra:lle => ra tietää kumpaa reitintä rb vai rd tulee kulloinkin käyttää

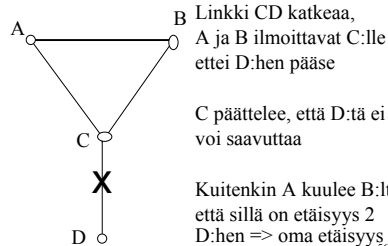
## tarvitaan kolmenlaisia reittejä

- alueen sisäisiä
  - reitin itse tietää lyhyimmän reitin
- alueiden välisiä
  - alueiden väliset reitit kulkevat aina runkolinjaa pitkin
  - reitin tietää lyhyimmän reitin runkolinjaan alueeseen
- AS:ien välisiä
  - Näistä huolehtivat AS-yhdysreitittimet
    - esim. BGP-protokollalla
  - AS-yhdysreitittimet tietävät reitin muihin AS:iin
    - yleensä AS-runkolinjan kautta

18.9.2003

53

- ratkaisu ei toimi aina



18.9.2003

## 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 (Intermediate System to Intermediate System)
    - "IS-IS = 0"

18.9.2003

54

## RIP-reititysprotokollia

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

18.9.2003

57

## 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.

18.9.2003

55

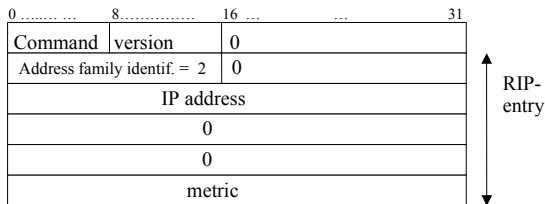
## RIP-1 (RFC 1058)

- 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

18.9.2003

58

## RIP-sanoman muoto



**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 hyppyyinä; max. = 16 eli ääretön

18.9.2003

59

## RIP-2 (RFC 2453)

- tehokkaampi koodaus
  - ei turhien nollakenttien lähettämistä
- aliverkkoreiitys
  - 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, monilähetyt
  - RIP-1: yleislähetyt

18.9.2003

62

## RIP:n toiminta

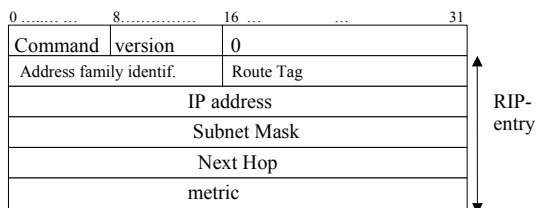
- Normaalisti lähetetään **vastauksia**
  - 30 sekunnin välein
  - kun omassa taulussa muutoksia
    - peräkkäiset muutokset vasta 1-5 sekunnin kuluttua, jotta ei syntyisi 'päivitystulvaa'
- Reitin käsittely saamansa vastaukset yhden kerrallaan

Kohteen osoite	etäisyydmitta	seuraava reititin	äskän päivitetty	useita ajastimia
192.55.2.5 .....	10 .....	193.46.4.8 .....	U(ppdated) .....	26, 12, .....

18.9.2003

60

## RIP-2-sanoman otsake



- Subnet Mask = aliverkkojen käsittelyyn verkon ulkopuolella

18.9.2003

63

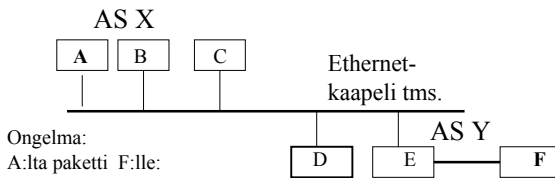
- Yhdessä sanomassa korkeintaan 25 alkion tiedot (512 tavua)
  - tarvittaessa useita peräkkäisiä sanomia

- **Reititystietopyyntö**, 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

18.9.2003

61

## Next Hop -kenttä



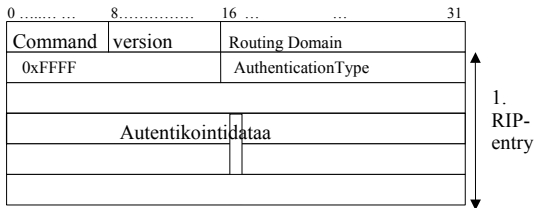
Ratkaisu: D ilmoittaa kustannuksen lisäksi suoraan seuraavan kohteen (next hop)

(\*Kustannus D:n kautta F:ään on xyz, mutta paras lähettää suoraan E:lle.\*)

18.9.2003

64

## RIP-2: sanoman autentikointisegmentti



-salasana selväkielisenä tai salakirjoitettuna (RFC 2082)

- myös tehokkaampia suojauksia

18.9.2003

65

## 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 reitittämiin

### kyseessä maailman laajuinen verkko

- kaikki häiriöt sattuvat
  - joskus ja jossain
- vikasietoisuus

18.9.2003

68

## RIPng (RFC 2080) ja muita parannuksia

- RIP-protokollan käyttö IPv6:n kanssa
  - parannetut turvapiirteet
    - Käytössä IPv6 turvapiirteet
- päivitystahdistumisen estäminen
- päivitysten kuittaukset => vähemmän lähettämistä
- useiden eri kustannusmittojen käyttö
- "count-to-infinity"-ongelma
  - 'source-tracing'-algoritmi, joka etsii silmukat iteratiivisesti
- **'turhaa hyvän ja yksinkertaisen protokollan monimutkaistamista?'**

18.9.2003

66

## 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

18.9.2003

69

## Linkkitilareititys

### Globaali reititysalgoritmi

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

18.9.2003

67

## OSPF (Open Shortest Path First)

### linkkitilaprotokolla

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

18.9.2003

70

- 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

18.9.2003

71

## OSPF:n toiminta

- reititustietojen vaihto
  - linkkiläviestejä 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 välittäjäreitittimelle
      - vähentää viestien määrää:  $n(n-1)/2 \implies 2(2-1)$ , jos  $n=20$ , niin  $20*19/2 = 190$  ja  $2*19 = 38!$

18.9.2003

74

## OSPF:n käyttöalueet:

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

18.9.2003

72

## Välittäjäreititin

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

18.9.2003

75

- 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

18.9.2003

73

## 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
  - toisen linkkikustannusten kysyminen

18.9.2003

76

## OSPF-paketin otsake

Versio #	type	packet length
Router ID		
Area ID		
Checksum	Autype (= Autentikointialgoritmi)	
Authentication		
Authentication		

18.9.2003

77

## 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

18.9.2003

80

## Hello-paketti

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

18.9.2003

78

## Hello-paketin kentät

- Network mask = liitäntäkortin 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

18.9.2003

79