

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)
 - linkkitalareititysprotokolla
- **reititys AS:ien välillä** (Exterior gateway protocols)
 - BGP (Border Gateway Protocol)

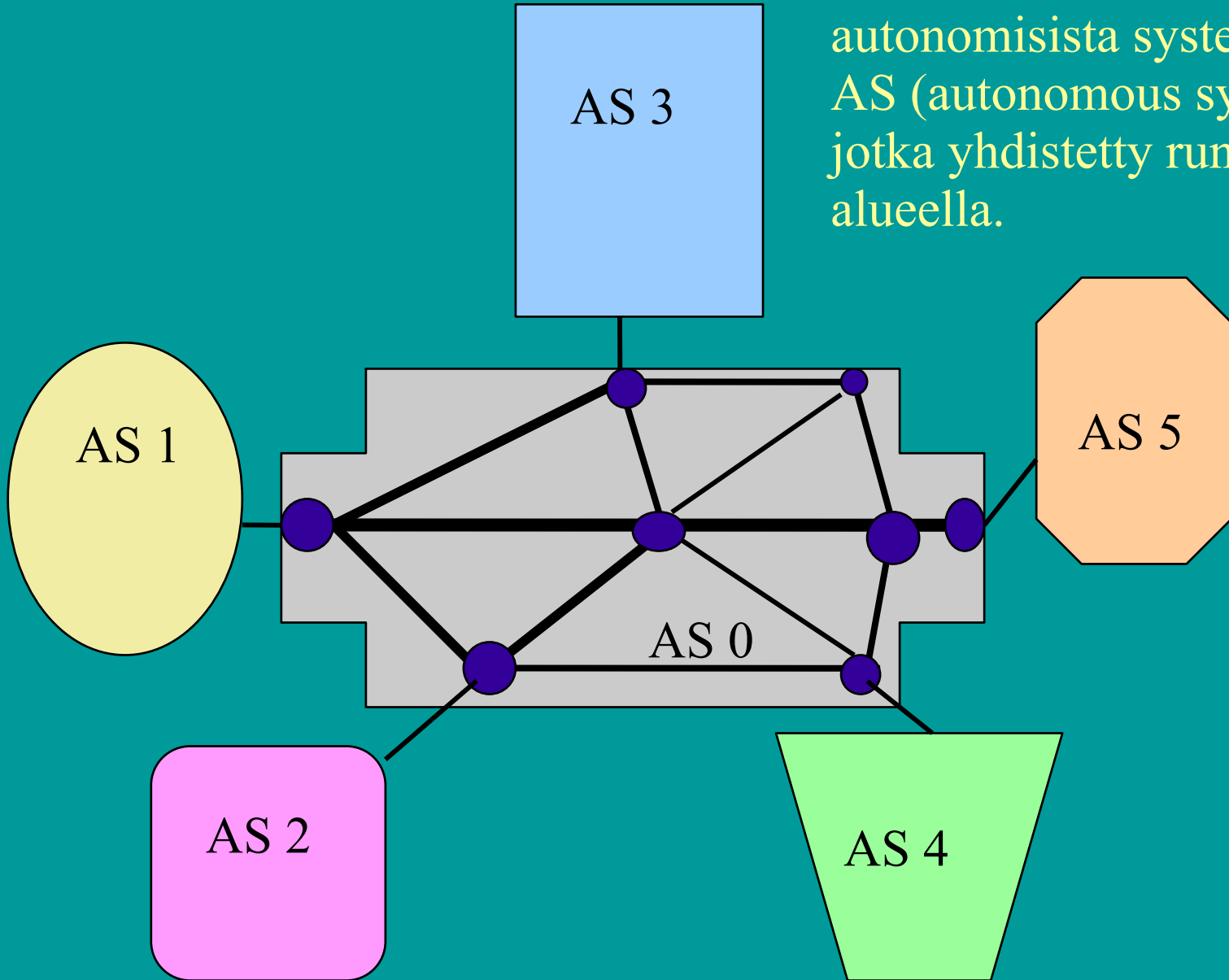
Reititys (Routing)

- 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?

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)

Internet koostuu
autonomisista systeemeistä
AS (autonomous system),
jotka yhdistetty runkolinja-
alueella.



Hierarkkinen reititys

- reitityksen skaalautuvuus
 - isossa verkossa runsaasti reitittimiä
 - 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.

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

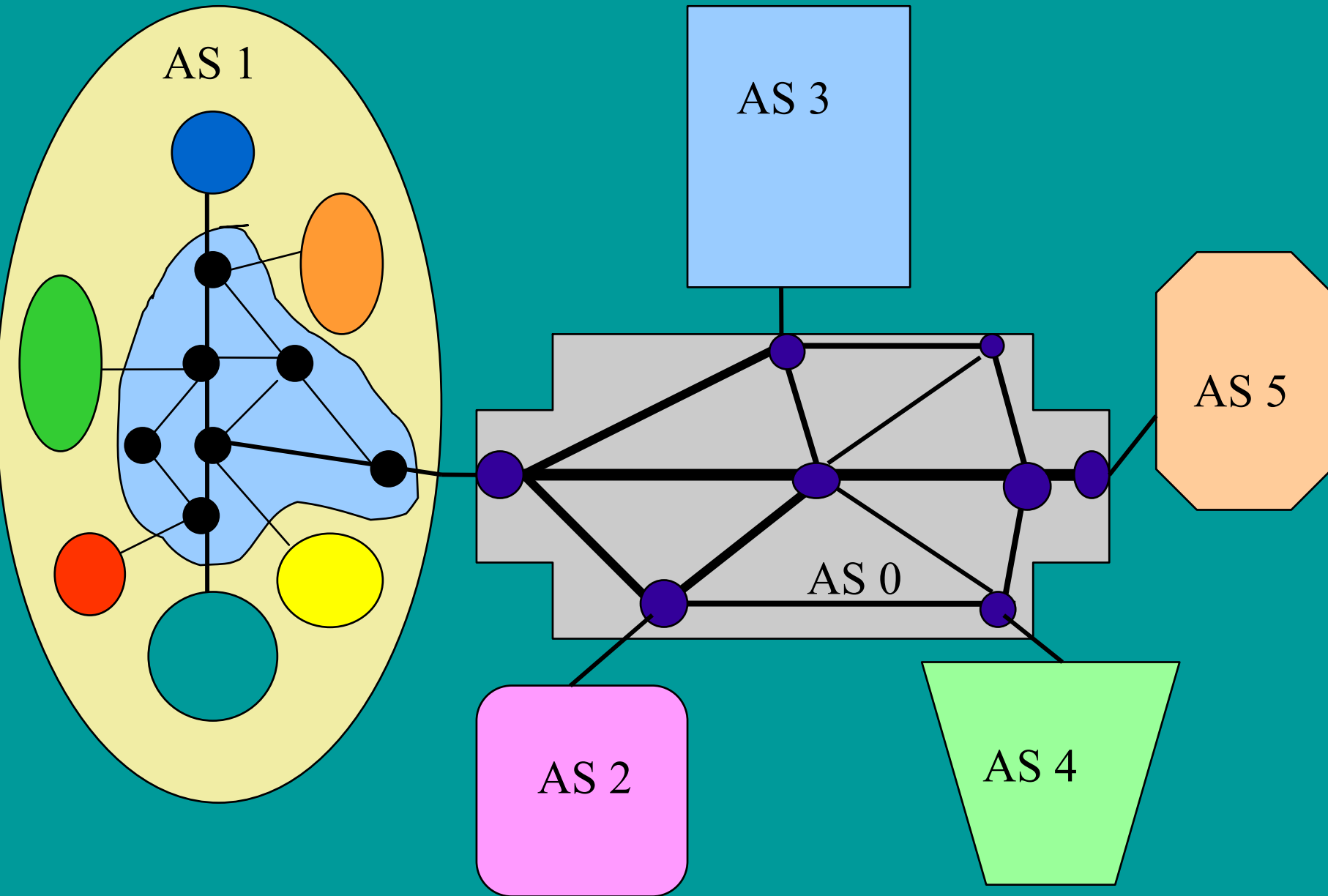
AS:ien välillä

- **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

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

Iso AS voi koostua useasta alueesta.



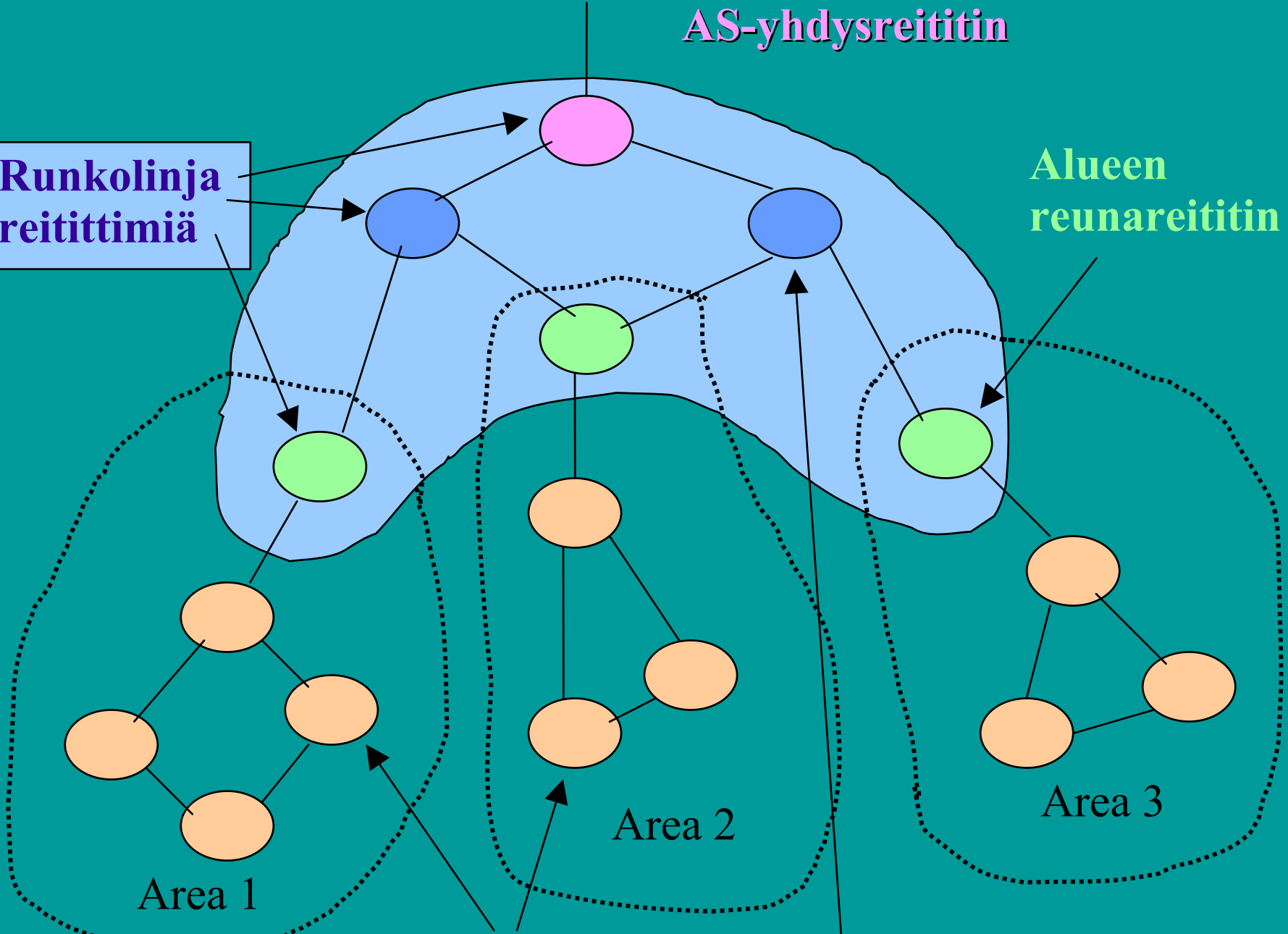
Erilaisia reitintyypppejä

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

AS-yhdysreititin

Runkolinja reitittimiä

Alueen reunareititin



Alueiden sisäisiä reitittimiä

Reitittimien toiminta

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

-
-

■ AS:ien välillä

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

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 lyhimmät reitit
 - alueensa /alueittensa sisällä

-
-



- **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

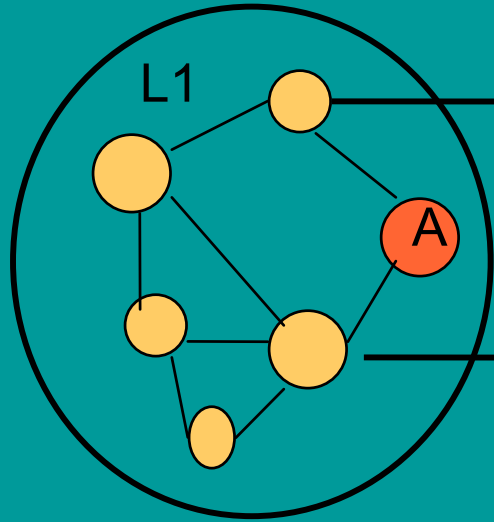
-
-



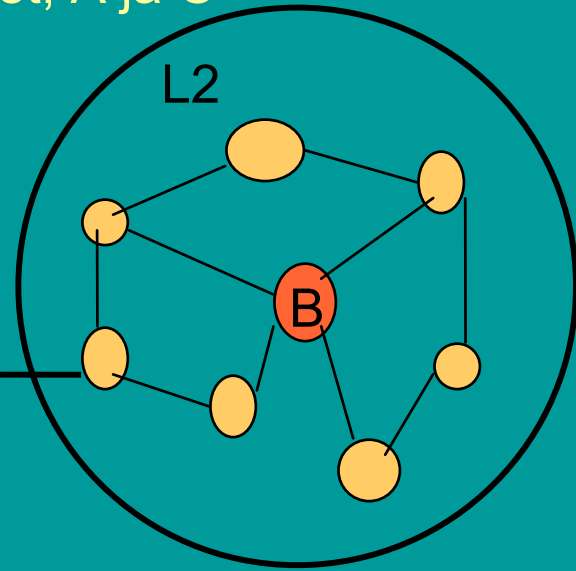
■ AS:n rajareititin

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

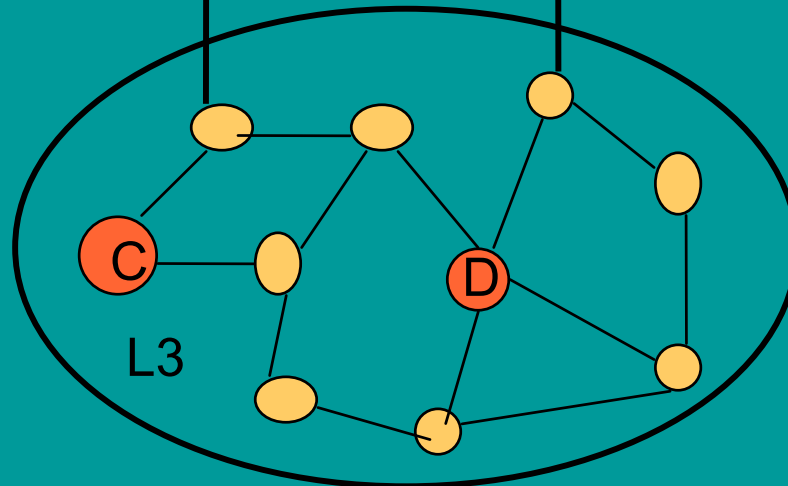
A:n viereiset reitittimet:
kaikki L1:n reitittimet, B ja D



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



A, B, C ja D
välittäjäreitittimiä

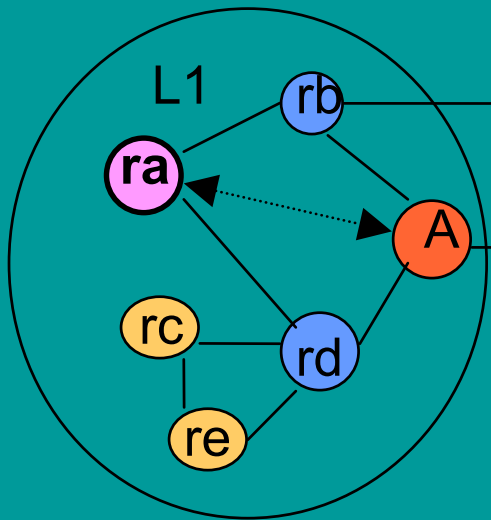


C: osa L3:n reititti-
mistä, D ja B

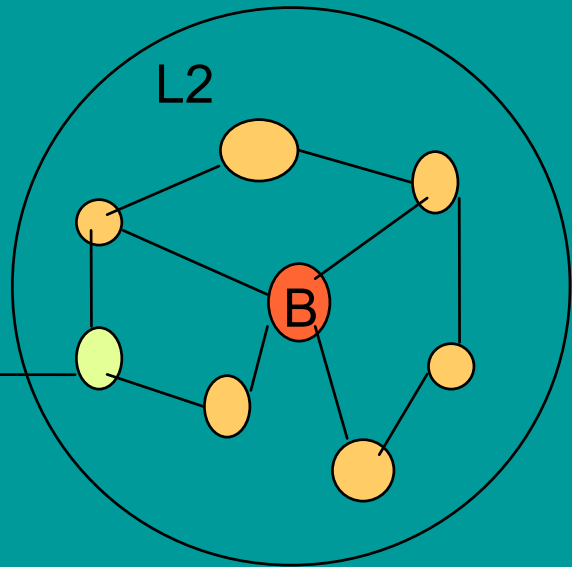
D: loput L3:n reitittimistä, C ja A

Hierarkkinen
reititystietojen
vaihto

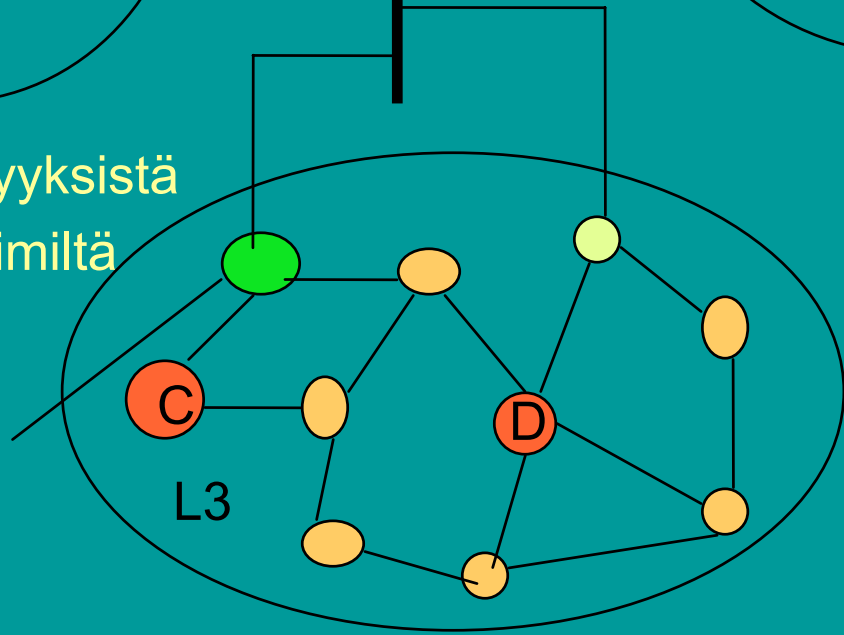
ra mittaa etäisyydet naapureihinsa
rb:hen ja rd:hen ja lähettää tiedot
A:lle



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



A saa tiedot etäisyyksistä
naarilta 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

Yleisesti käytetyt reititysalgoritmit

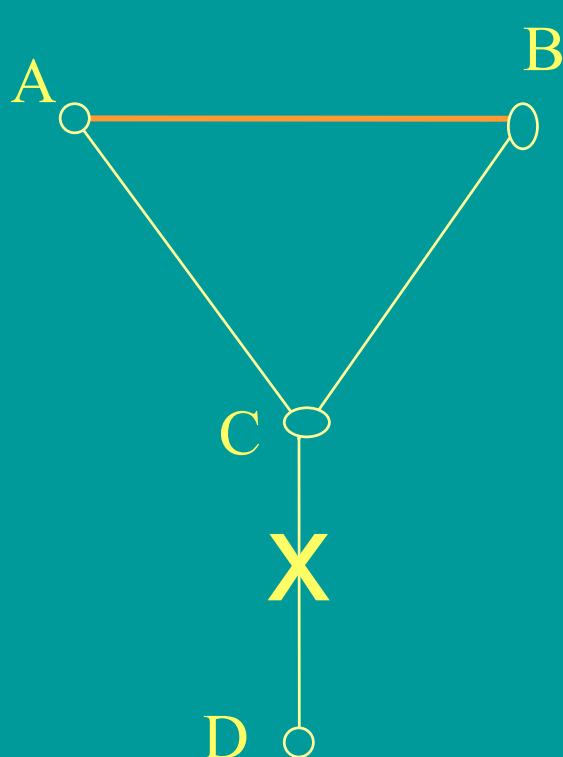
- **Etäisyysvektoreireitys** (Distance Vector Routing)
 - ARPA-verkon alkuperäinen reititysalgoritmi
 - Internetin RIP-algoritmi
 - Ciscon IGRP ja EIGRP (mm. useita eri kustannusmittoja)
- **linkkitilareitys** (Link State Routing)
 - ARPA-verkon reititysalgoritmi vuodesta 1979
 - Internetin **OSPF**-algoritmi
 - ISO:n IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)
 - “IS-IS = 0”

Etäisyysvektoreittitys

- 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



B 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

RIP-reititysprotokollia

■ RIP

■ etäisyysvektoreititys

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

■ RIPv1

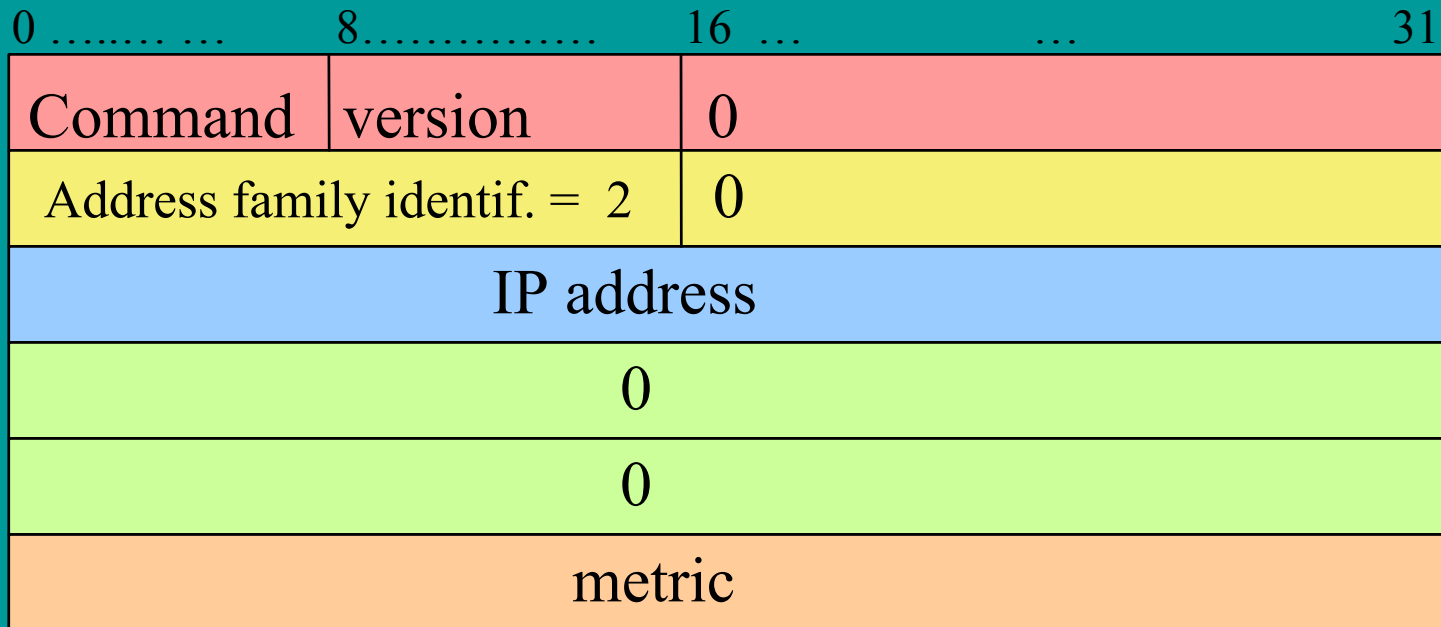
■ RIPv2

■ RIPvng

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)
 - yleislähetystenä (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

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 hyppyinä ; max. = 16 eli ääretön

RIP:n toiminta

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

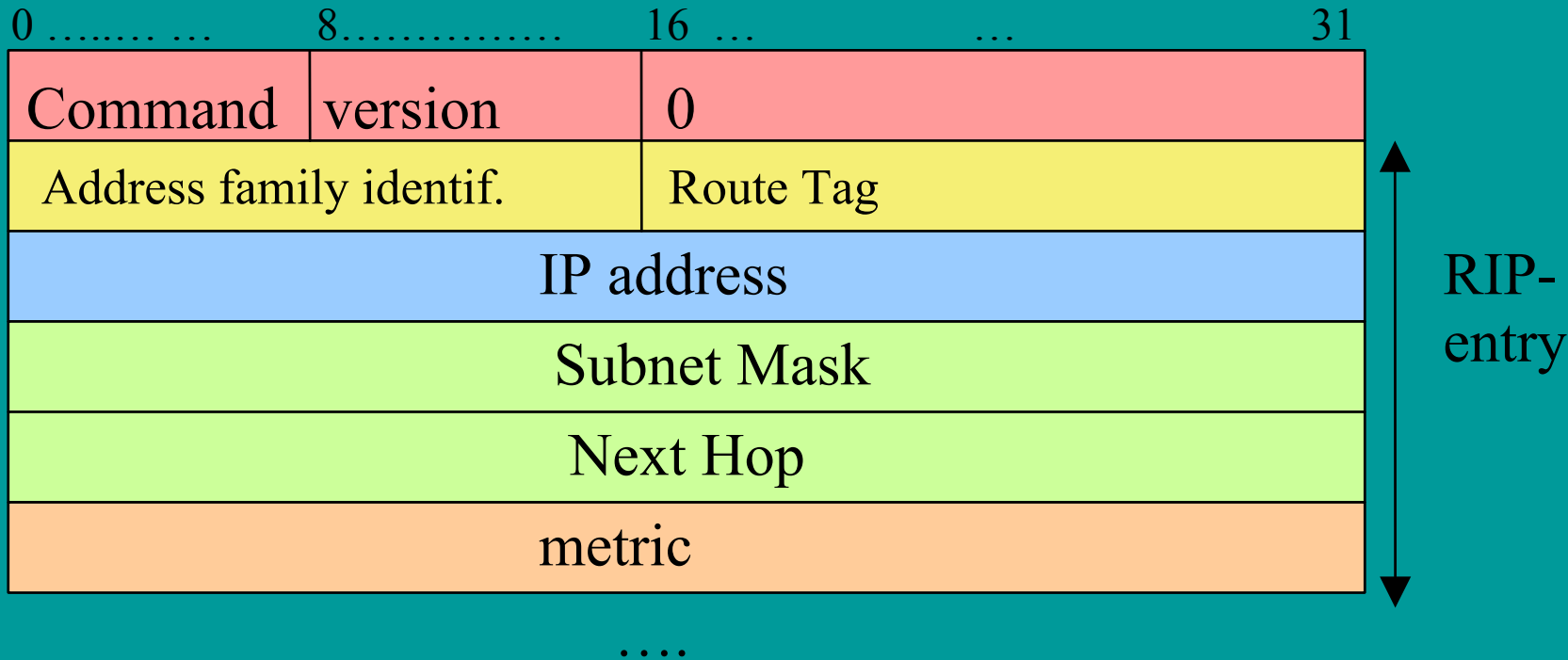
Kohteen osoite	etäisyysmitta	seuraava reititin	äskettäin päivitetty	useita ajastimia
192.55.2.5	10	193.46.4.8	U(ppdated)	26, 12,
.....

-
-
- Yhdessä sanomassa korkeintaan 25 alkion tiedot (512 tavua)
 - 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)

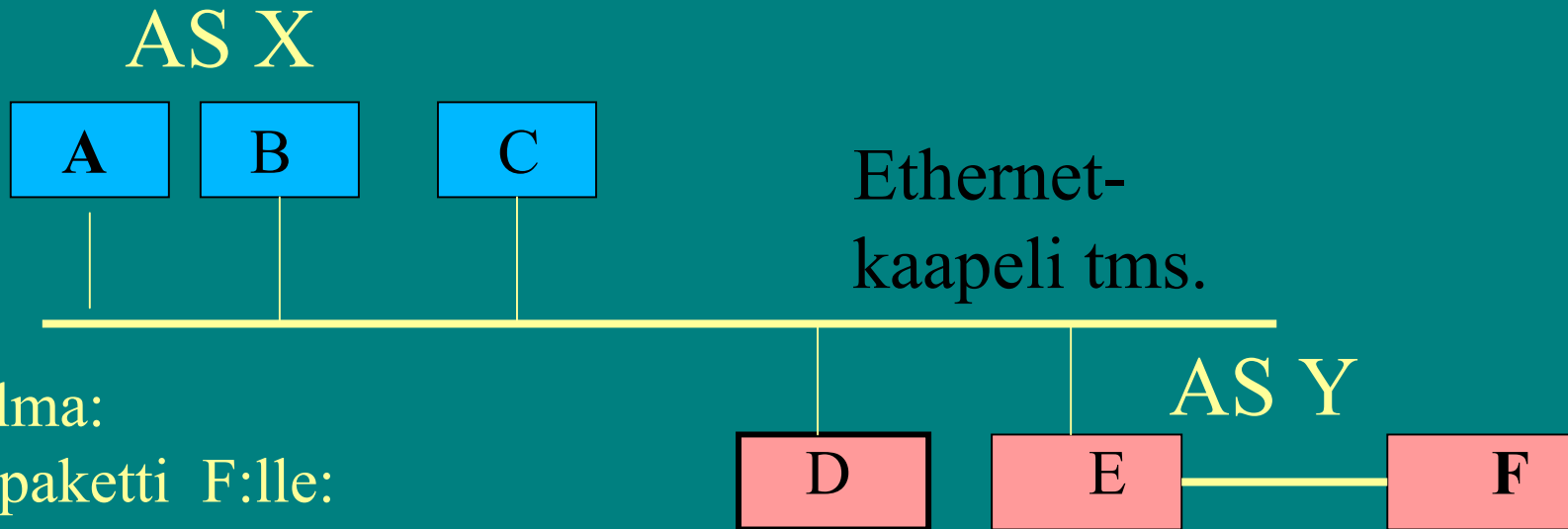
- tehokkaampi koodaus
 - ei turhien nollakenttien lähettämistä
- aliverkkoreititys
 - RIP-1: aliverkot eivät näy ulospäin
 - RIP-2: aliverkkomaski osoitteen mukana => CIDR
- autentikointi
 - RIP-1 luotti porttiin 520, jota sai käyttää vain etuoikeutettu käyttäjä
 - RIP-2: ensimmäinen alkio voi olla autentikointisegementti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

RIP-2-sanoman otsake



- Subnet Mask = aliverkköjen käsittelyyn verkon ulkopuolella

Next Hop -kenttä



Ongelma:

A:lta paketti F:lle:

- ensin D:lle

- joka siirtää F:lle

eli paketti kulkee

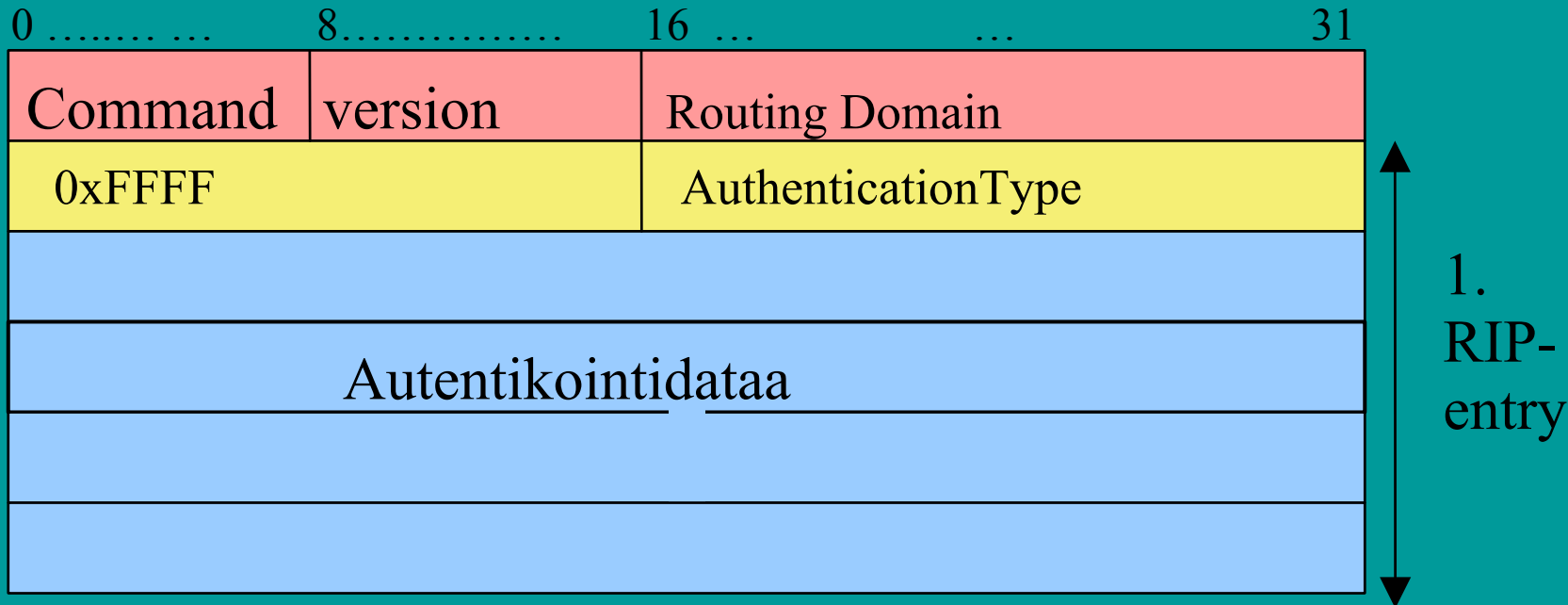
kaksi kertaa samaa

kaapelia!

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

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

RIP-2: sanoman autentikointisegmentti



....

-salasana selväkielisenä tai salakirjoitettuna (RFC 2082)

- myös tehokkaampia suojauksia

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?’**

Linkkitilareititys

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

Linkkitilareititys (Link State Routing)

- reitittimen tehtävät
 - selvitettävä naapurit ja niiden osoitteet
 - mitattava etäisyys / kustannus naapureihin
 - koottava tietopaketti ko. tiedoista
 - lähetttävä 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

OSPF (Open Shortest Path First)

- linkkitilaprotokolla
 - tavoitteet:
 - avoin (eli julkinen)
 - erilaisia eäisyysmittoja
 - dynaaminen algoritmi
 - myös palvelutyypin (TOS) 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)

-
-

■ 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

OSPF:n toiminta

- reititystietojen vaihto
 - linkkitilaviestejä 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 $2*19 = 38!$

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

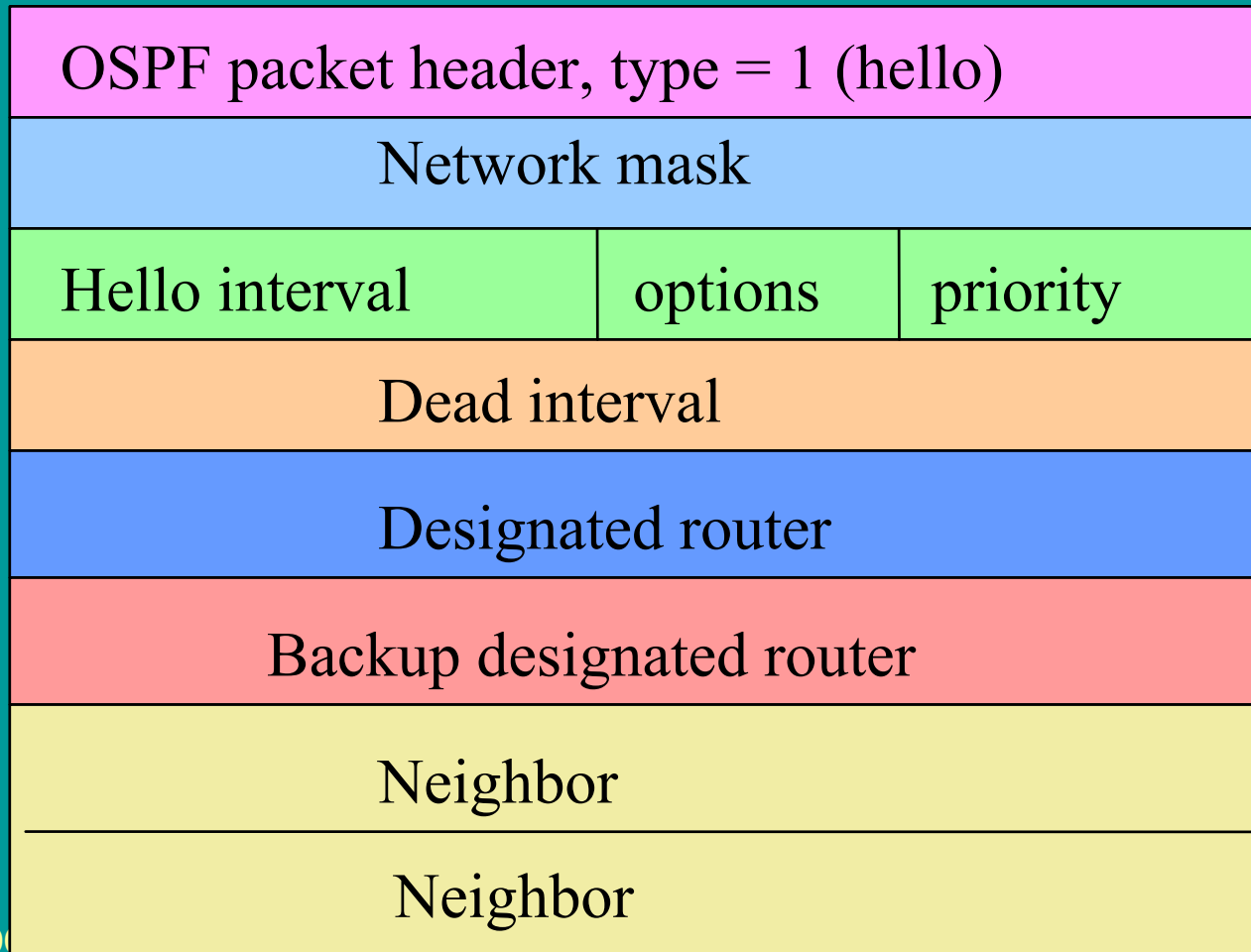
OSPF-sanomat

- 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

OSPF-paketin otsake

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

Hello-paketti



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