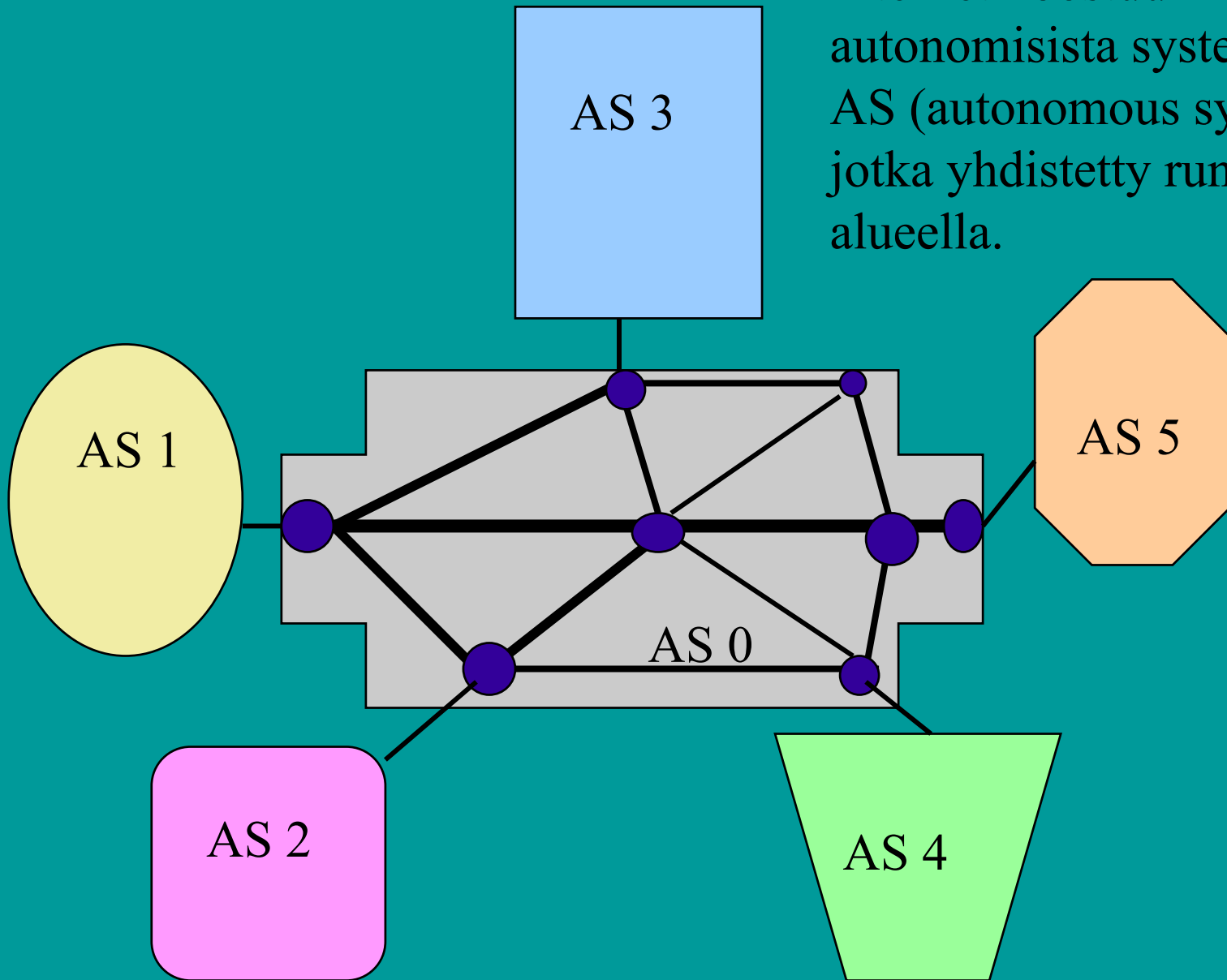


Internet koostuu  
autonomisista systeemeistä  
AS (autonomous system),  
jotka yhdistetty runkolinja-  
alueella.

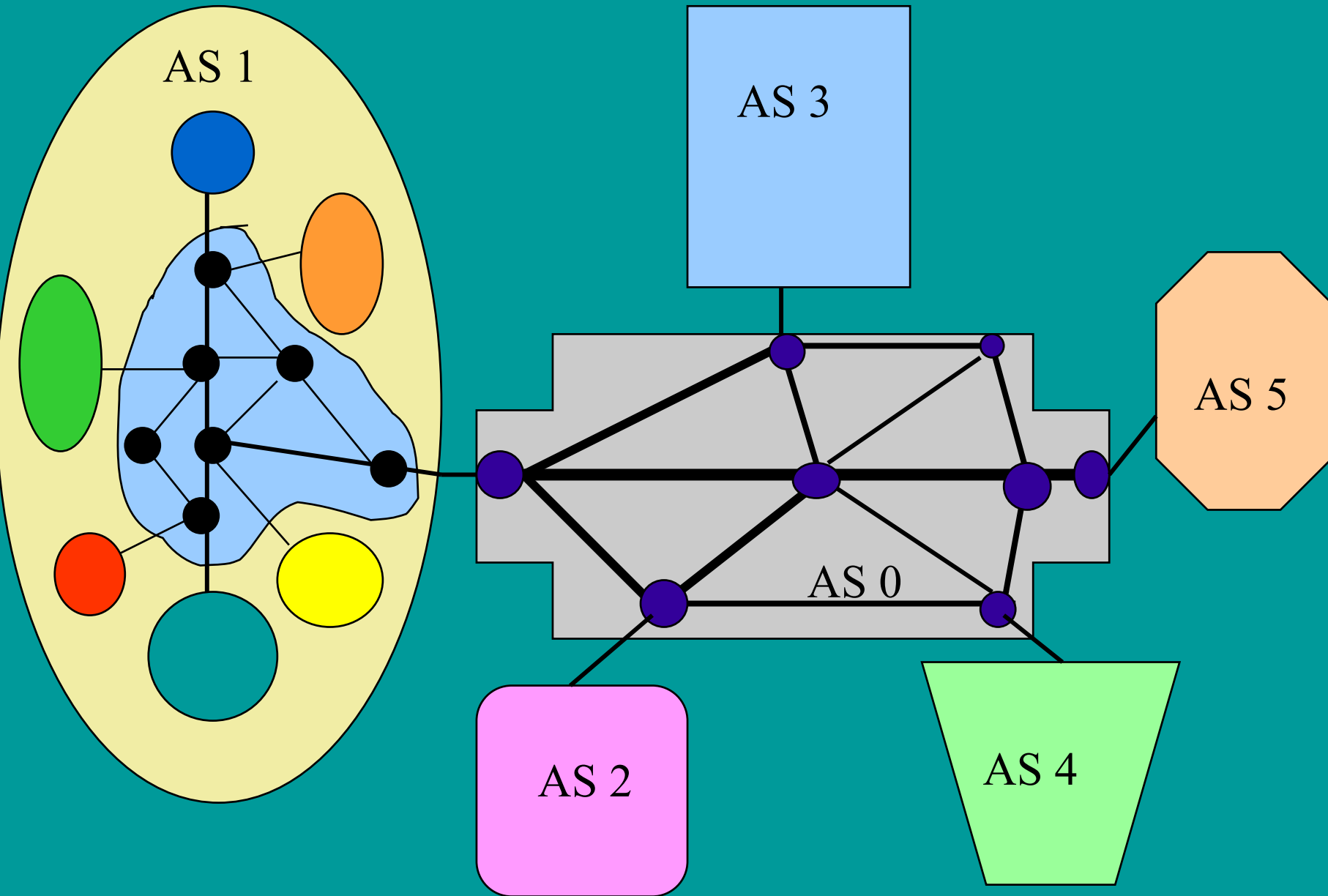


- **Yhden AS:n sisällä**
  - reitittimet käyttävät samaa reititysprotokollaa (intra-AS protocol)
    - OSPF, RIP,...
  - kukin reititin tuntee kaikki muut tämän AS:n reitittimet ja saa niiltä reititystietoja
  - tietää mikä reititin tai mitkä reitittimet (gateway router) hoitavat liikenteen muihin AS:iin
    - AS:n yhdysreitittimet
- **AS:ien välillä**
  - yhdysreitittimet vaihtavat reititystietoja eri AS:ien välillä
  - käyttäen toisenlaista reititysprotokollaa (inter-AS protocol)
    - esim. BGP (Border Gateway Protocol)

# 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.



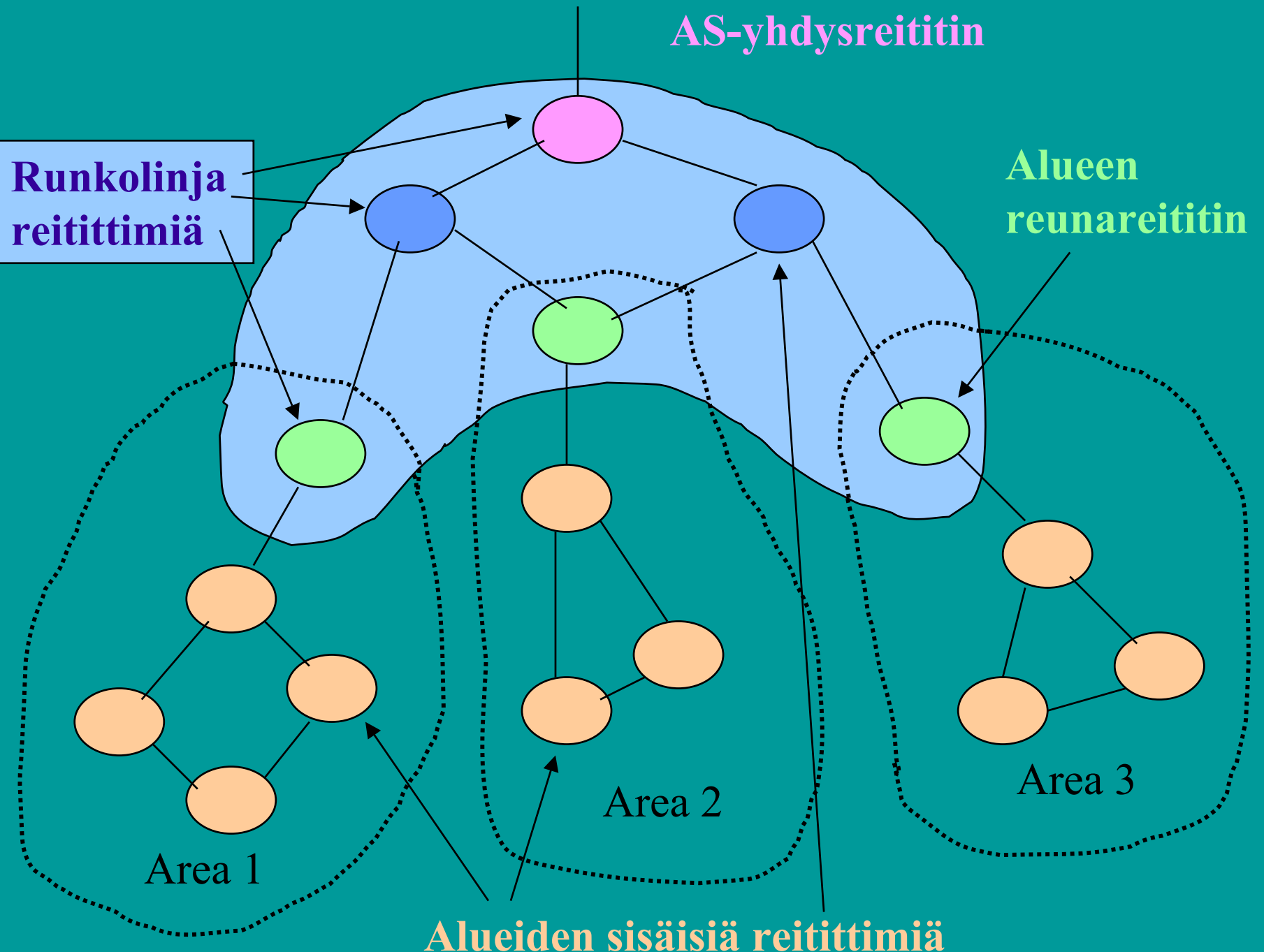
# 4 reitintyyppiä

- **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

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

# 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
  - linkkilareititystä tai etäisyysvektoreititystä
    - eri metriikat
    - erilaiset tavat kerätä ja vaihtaa tietoja
  - tarvitaan jokin yhteinen reititysprotokolla, jolla yhdysreitittimet voivat vaihtaa reititystietoja
    - esim. BGP

# Reitittimien toiminta

- **reititin**

- kertoo tulvittamalla alueensa kaikille muille reitittimille
  - naapurinsa
  - kustannustiedot (kolme 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

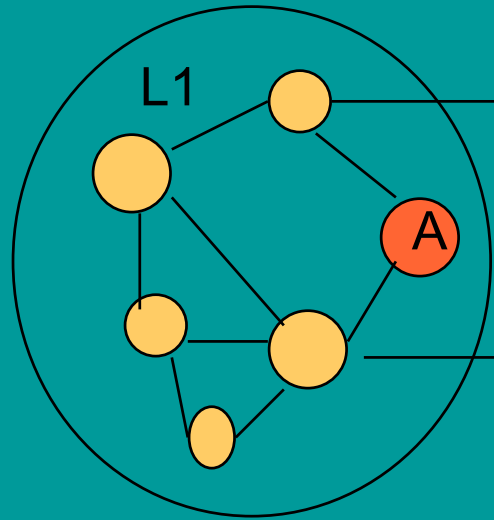
- 
- 



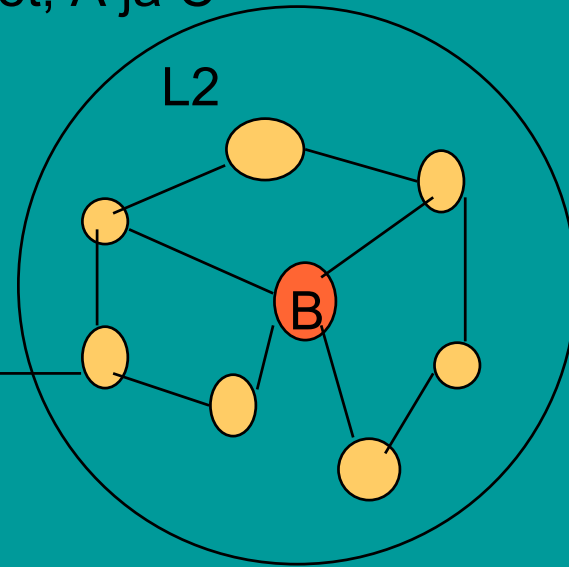
## • **AS:n rajareititin**

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

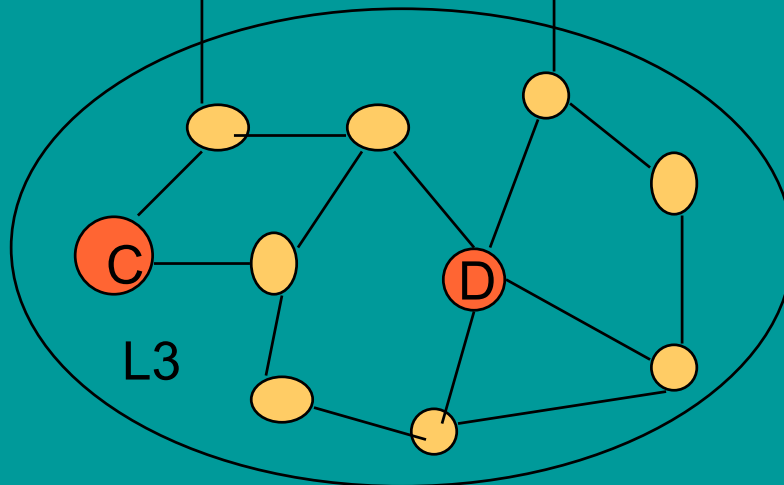
A:n vierekkäiset reitittimet:  
kaikki L1:n reitittimet, B ja D



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



A, B, C ja D  
välittäjäreitittimiä

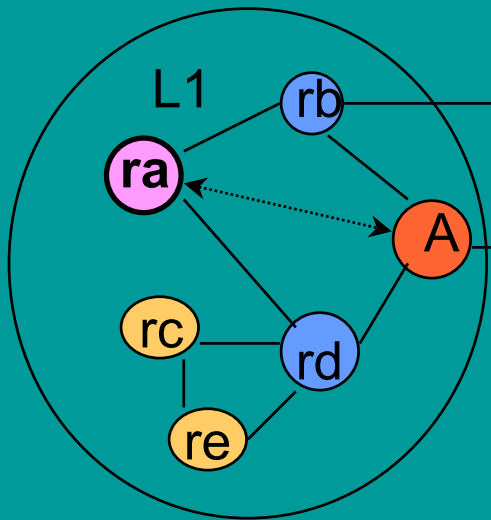


C: osa L3:n reititti-  
mistä, D ja B

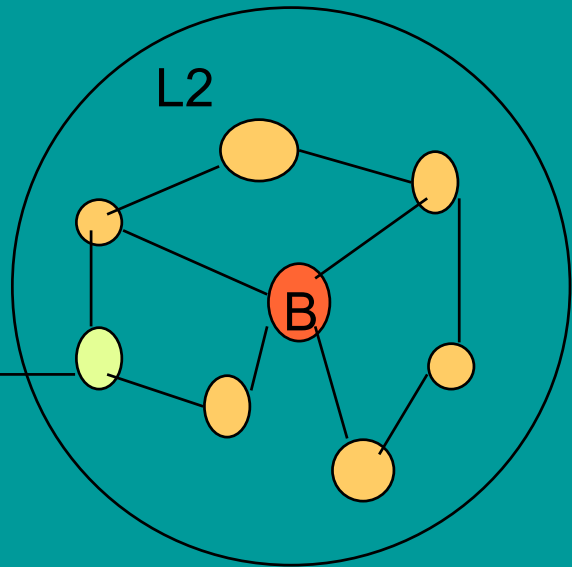
D: loput L3:n reitittimistä, C ja A

Hierarkkinen  
reititystietojen  
vaihto

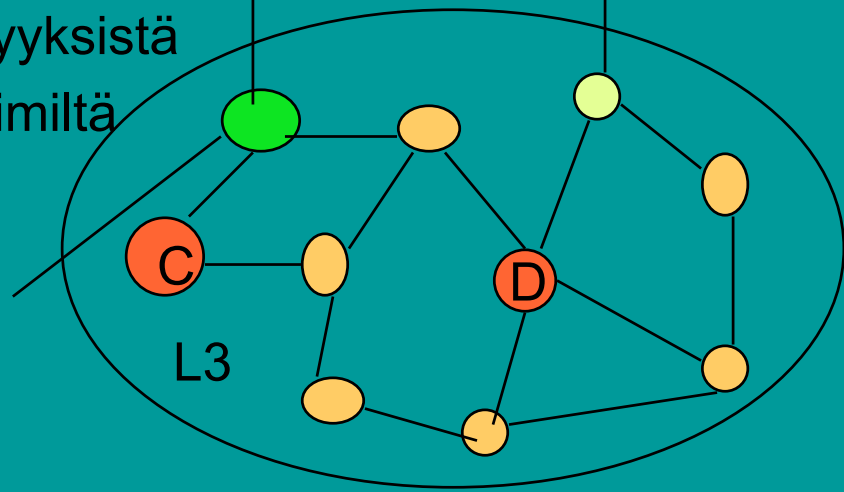
ra mittaa etäisyydet naapureihinsa  
rb:hen ja rd:hen ja lähettää tiedot  
A:lle



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



A saa tiedot etäisyyksistä  
kaikilta L1:n reitittimiltä  
ja välittää tiedot  
muille =>  
ja 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

# 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)

# BGP (Border Gateway Protocol) (RFC 1771)

- **AS:ien välillä**

- otettava huomioon eri AS:ien politiikat

- AS:ien sisällä tärkeintä **tehokkuus**

- AS:ien välillä toiminta **politiikka**

- kieltoja tai suosituksia reitittää tiettyjen AS:ien kautta

- politiikat manuaalisesti BGP-reitittimiin

- hyvin erilaisia sääntöjä: politiikka, turvallisuus, taloudellisuus

- ‘Kanadasta Kanadaan ei saa lähettää USA:n kautta.’

- ‘AS xyz ei hyväksy transit-liikennettä.’

- ‘Pentagonista lähteviä paketteja ei reititetä Irakin kautta.’

- ‘Viikonloppuisin käytetään reittiä abc.’



# BGP (jatkuu)

- **pohjimmiltaan etäisyysvektoriprotokolla**
  - **polkuvektori**
    - tallettaa kunkin reitin koko polun
      - ei kustannustietoja, vaan polulla olevat AS:t
        - havaitaan mahdolliset silmukat!
    - kertoo naapureilleen käyttämänsä reitin
      - hylkää itsensä kautta kulkevat reitit, jotta ei synny silmukoita
    - keino välittää reitti-informaatioita
      - ei määrää, kuinka reiteistä valitaan oikea reitti
      - kukin AS voi valita reittinsä, miten haluaa

- **BGP näkee verkon joukkona AS:iä**

- jokaisella AS:lla oma tunnus (ASN)
- reitittimellä on reititystaulussaan reittejä sen tuntemiin AS:iin

- esim. AS X:ään , Y:hyn ja Z:aan

B D F **X**

B G I K **X**

F C A H P **Y**

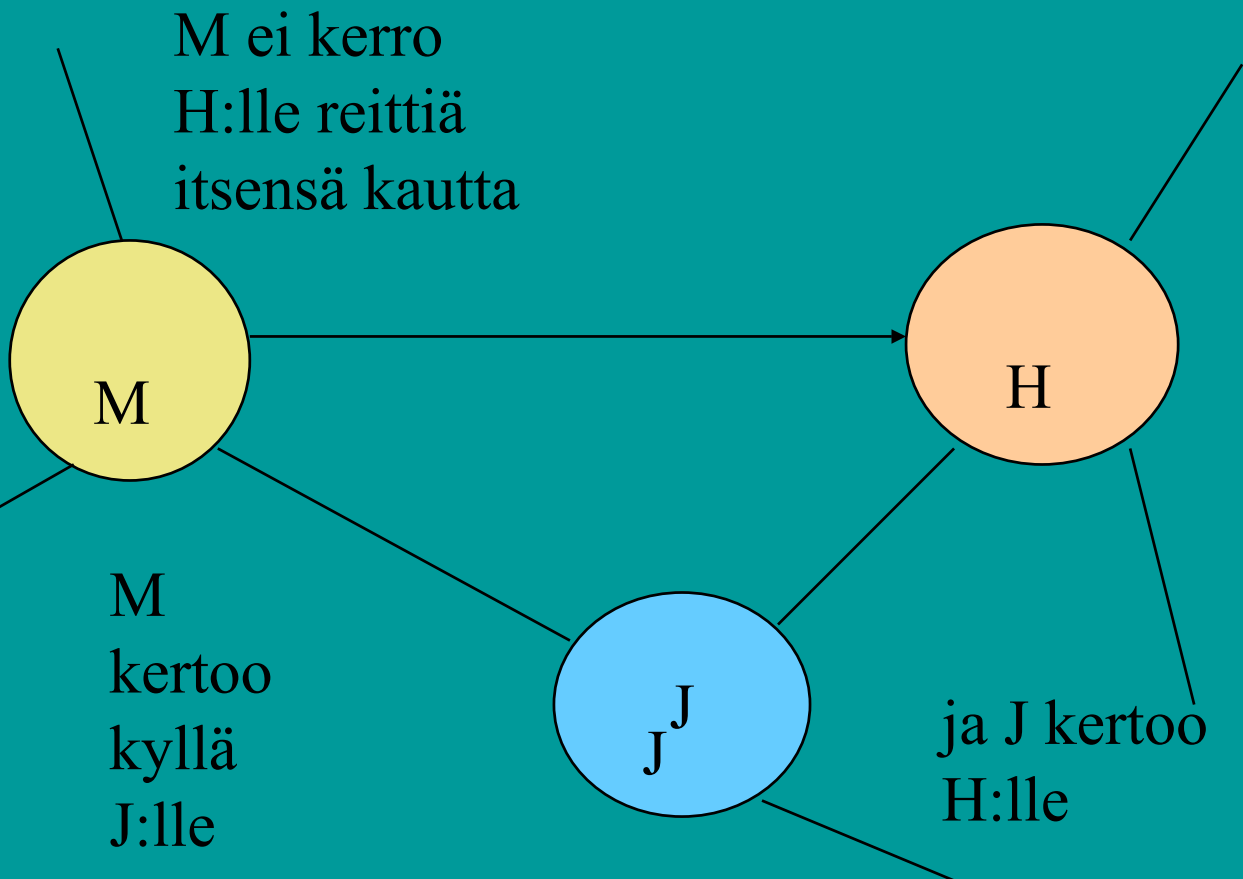
S **Y**

E C A **Z**

# BGP:n toiminta

- **reitti-ilmoitusten vastaanottaminen naapureilta ('lupauksia')**
  - silmukoiden poistaminen
  - ei-toivotut AS:t
- **reititin valinta**
  - reititysmekanismi  $\Leftrightarrow$  reitityspolitiikka
    - politiikkaratkaisut hallinnon asia
- **Reitti-ilmoitusten lähettäminen naapureille**
  - Mitä kellekin ilmoitetaan

# Reittien salaaminen



# BGP-sanomat

- **OPEN**
  - ‘esittelysanoma’: tunnus + autentikointitiedot (vrt. OSPF:n Hello) ja ajastintietoja
- **KEEPALIVE**
  - lähettäjä ‘elossa’, mutta sillä ei ole mitään lähetettävää
  - toimii myös kuittauksena OPEN-sanomalle
- **UPDATE**
  - ilmoitetaan uusia reittejä ja poistetaan vanhoja
- **NOTIFICATION**
  - ilmoitus virheestä
  - ilmoitus BGP-istunnon lopettamisesta

- **Sanomien lähettämiseen käytetään TCP:tä**
  - ruuhkavalvonta, hidas aloitus
  - sanomille korkea prioriteetti
  - muutospäivitykset = lähetetään vain muutokset
- **Reittien valinta**
  - arvioidaan reitit: ‘local preference’ -metric
    - kielletyt AS:t
    - epävarmat tai saavuttamattomat yhteydet
    - polun AS:ien määrä jne.
  - valitaan sopivin reitti
  - ilmoitetaan paras reitti AS:n muille reitittimille

# I-BGP

- Edellä esitelty E-BGP (External-BGP)
- Tarvitaan myös I-BGP (Internal-BGP)
  - Kertoo AS:n sisällä reitit muihin AS:iin
    - Voidaan toteuttaa myös oletusreiteillä
  - I-BGP:t AS:n sisällä toistensa ‘naapureita’
    - = vaihtavat tietoja keskenään
    - Rajoituksia sille, mitä reittejä saa ilmoitella muille

# Monilähetysreititys

- **Paketti lähetetään usealle vastaanottajalle**
- **Miksi?**
  - Monet sovellukset hyötyvät
    - ohjelmistopäivitykset
    - WWW-välimuistien päivitykset
    - etäopetus, virtuaalikoulu
    - videoiden, äänitteiden lähetys
    - interaktiiviset pelit
  - **Mitä hyötyä?**
    - Nopeus, tehokkuus



- **paketti monelle vastaanottajalle**
  - useita kaksipistelähetystyksiä: kaikille oma paketti
  - tulvitus
  - multidestination routing: kohteet lueteltu paketissa, reititin kopioi kaikkiin tarpeellisiin ulosmenoihin
  - lähettäjän virittävä puu (spanning tree)
    - ei silmukoita
    - yhteinen tai jokaiselle lähettäjälle oma puu
  - reverse path -algoritmi (käänteinen polku)
    - estimoi virittävää puuta

# Monilähetys

- **Monilähetysryhmä**
  - ryhmäosoite (Luokan D osoite)
  - vastaanottajaryhmän hallinta
    - ryhmien muodostus, poistaminen
    - vastaanottajien lisääminen, poistaminen
- **Monilähetyksen reitittäminen**
  - reitittimet tietävät ketkä kuuluvat mihinkin ryhmään
    - laskevat lyhimmat reitit vastaanottajiin
    - ohjaavat reititystaulujensa avulla paketit vastaanottajille

# IGMP (Internet Group Management Protocol) (RFC 2236)

- Monilähetysryhmien hallinta
  - IGMP isäntäkoneen ja sen lähimmän reitittimen välillä
    - isäntäkone ilmoittaa itsensä jäseneksi tiettyyn ryhmään
    - isäntäkone poistaa itsensä ryhmästä
  - monilähetysreititys algoritmi
    - reitittimien välillä monilähetysten koordinoimiseksi
    - esim. PIM, DVMRP, MOSPF
    - huom! ryhmän isäntäkoneiden välillä ei ole mitään protokollaa
      - eivät tiedä, ketkä muut kuuluvat ryhmään

# D-osoitteet

- **monilähetykset D-osoitetta käyttäen**
  - 28 bittiä => yli 250 miljoonaa ryhmäosoitetta
  - perilletoimitus 'best effort'
- pysyviä ryhmiä
  - 224.0.0.1 kaikki lähiverkossa
  - 224.0.0.2 kaikki reitittimet lähiverkossa
  - 224.0.0.5 kaikki OSPF-reitittimet lähiverkossa
  - 224.0.0.6 kaikki 'designated' OSPF-reitittimet lähiverkossa
- tilapäisiä ryhmiä

# IGMP:n toimintaperiaate

- **kysely/vastaus**

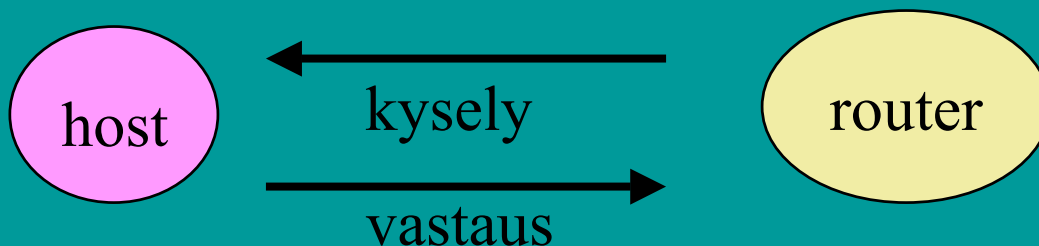
- monilähetysreitittimet kyselevät

- noin minuutin välein kysyvät kaikilta koneiltaan, mihin ryhmiin kuuluvat

- 224.0.0.1-osoitteella

- koneet vastaavat

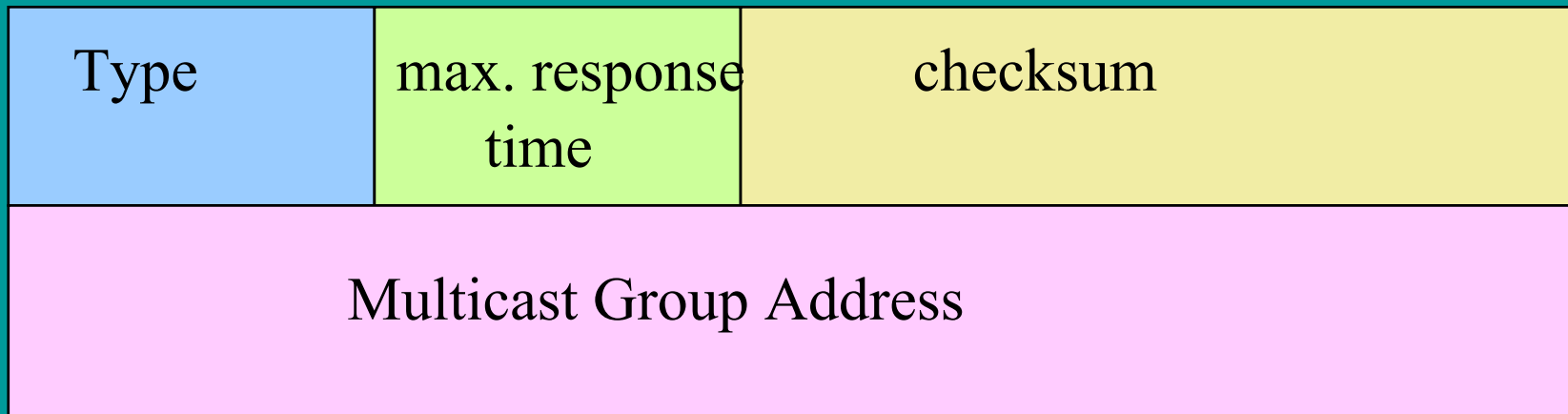
- ilmoittamalla kaikkien niiden ryhmien D-osoitteet, joihin jokin niiden sovellus on liittynyt



# IGMP-sanomat

- **Membership query**
  - general: mihin ryhmiin kuuluvia?
  - specific: onko tiettyyn ryhmään kuuluvia?
  - Kyselyillä maksimivastausaika
- **Membership report**
  - kone haluaa liittyä tai on liittynyt ilmoitettuun ryhmään
- **Leave group**
  - kone ilmoittaa poistuvansa ryhmästä
  - vapaaehtoinen!
    - Jos ei vastaa kyselyihin, ei ole enää mukana
      - => jäsenyyden voimassaololle aikaraja

# IGMP-sanoma



Type = mikä sanoma kyseessä

max. response time = maksimivastausaika kyselyissä

Checksum = taskistussumma

Multicast Group Address = monilähetysryhmän osoite

# Maksimivastausaika?

- **Optimointia varten, esim. LAN-verkoissa, joissa kaikki kuulevat kaikki sanomat**
  - reititin haluaa tietää vain onko kukaan sen LANin koneista kiinnostunut tietyistä ryhmästä
    - ei sitä ketkä koneista haluavat ryhmän jäseniksi
    - ei edes montako sen koneista on tietyn ryhmän jäsenenä
  - koneet vastaavat satunnaisen ajan kuluttua
    - jos joku muu kone jo vastannut, ei enää vastaa

**=> vastausten määrä pienenee**



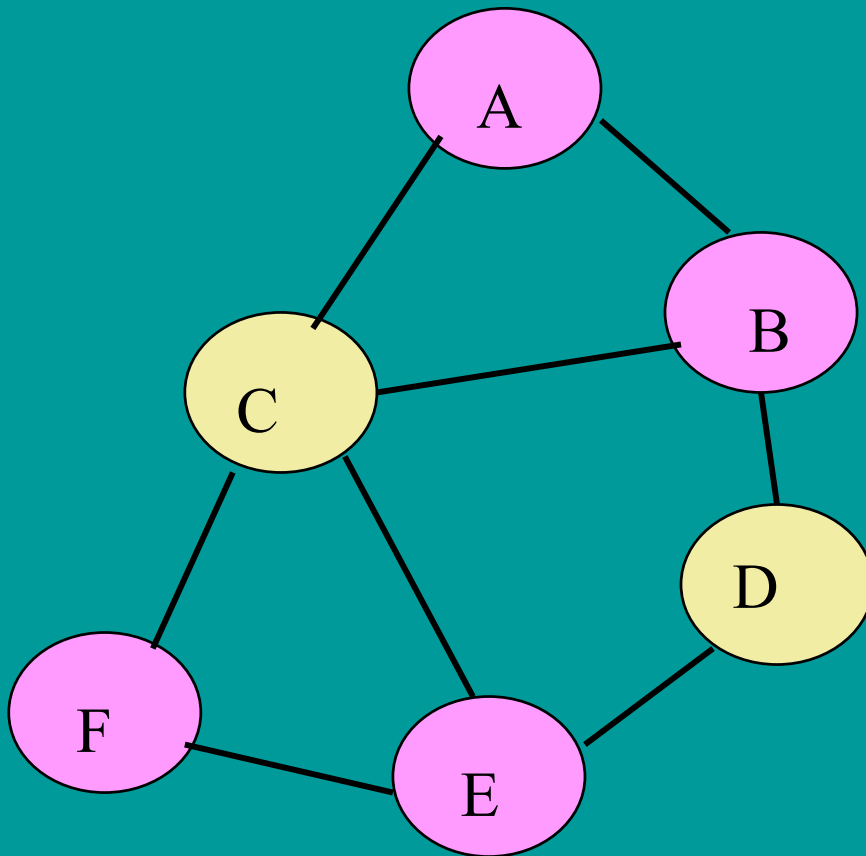
# Internetin monilähetyspalvelumalli

- **Kone ilmoittaa omalle reitittimelleen haluavansa liittyvä tiettyyn ryhmään**
  - IGMP:n membership\_report-sanomalla
- **Reitittimet alkavat välittää koneelle tämän ryhmän viestejä**
- **vastaanottajavetoinen (receiver-driven)**
  - Lähettäjä ei pidä kirjaa ryhmän jäsenistä eikä tiedä kenelle kaikille viesti menee.
- **Kuka tahansa voi toimia lähettäjänä**
  - eri lähettäjien sanomat tulevat sekaisin
- **Monilähetysosoitteita ei koordinoita verkkotasolla**
  - eri ryhmille voidaan valita sama osoite

# Monilähetysreititys (multicast routing)

- **Ongelma:**

- Reitittimien on kyettävä rakentamaan ‘optimaaliset’ reitit ryhmän kaikille vastaanottajille
  - kun mikä tahansa kone voi toimia lähettäjänä
  - ryhmään voi kuulua eri määrä vastaanottajia
    - lähes kaikki isäntäkoneet
    - vain muutama isäntäkone
  - ryhmän jäsenyys voi olla hyvin dynaamista
- Tavoitteena on löytää mahdollisimman optimaalinen linkkipuu, joka yhdistää kaikki ryhmän jäsenet
  - sanomien reititys puun linkkejä pitkin



A, B, E ja F:  
reitittimillä  
ryhmän jäseniä

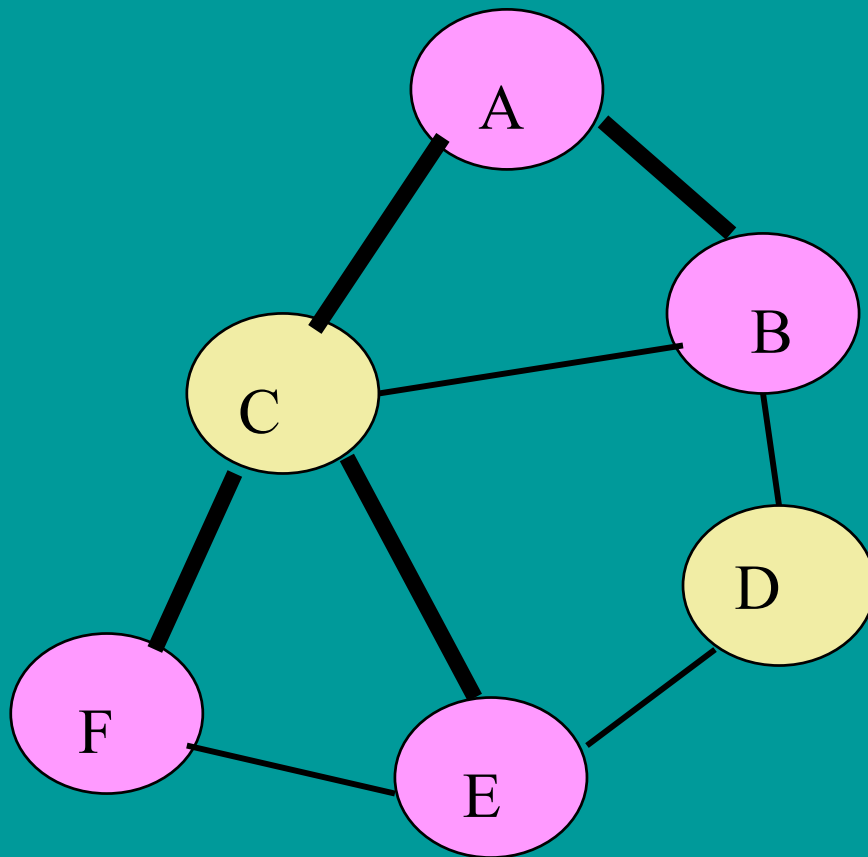


C ja D:  
reitittimillä ei  
ole ryhmän  
jäseniä

# Monireitityspuun rakentaminen

- **Kaksi erilaista lähestymistapaa**
  - yksi puu koko ryhmälle (group shared tree)
    - kuka tahansa toimii lähettäjänä, niin reitityksessä käytetään samaa puuta
  - jokaiselle lähettäjälle oma puu (source-based tree)
    - jos ryhmässä on  $n$  jäsentä, niin muodostetaan  $n$  eri puuta
    - jokaisen lähettäjän sanomat reititetään sen oman linkkipuun avulla

# Yksi puu koko ryhmälle



A, B, E ja F:  
reitittimillä  
ryhmän jäseniä

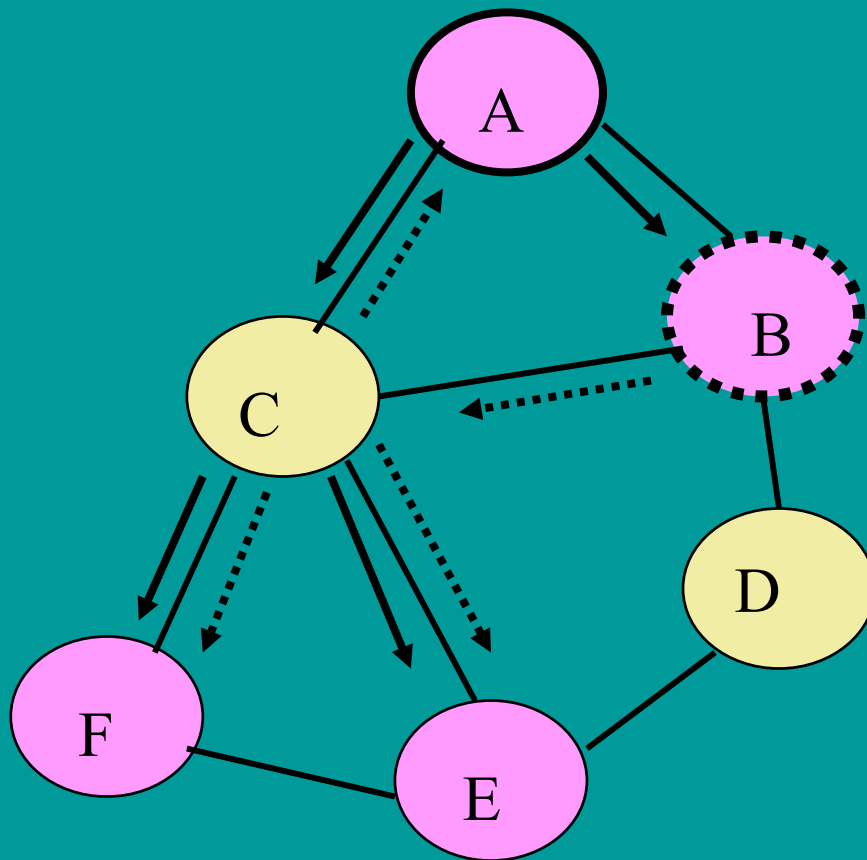


C ja D:  
reitittimillä ei  
ole ryhmän  
jäseniä



reitityslinkki

# Eri lähettäjäille omat puut



A, B, E ja F  
:reitittimillä  
ryhmän jäseniä



C ja D:  
reitittimillä ei  
ole ryhmän  
jäseniä



A:n lähettäessä

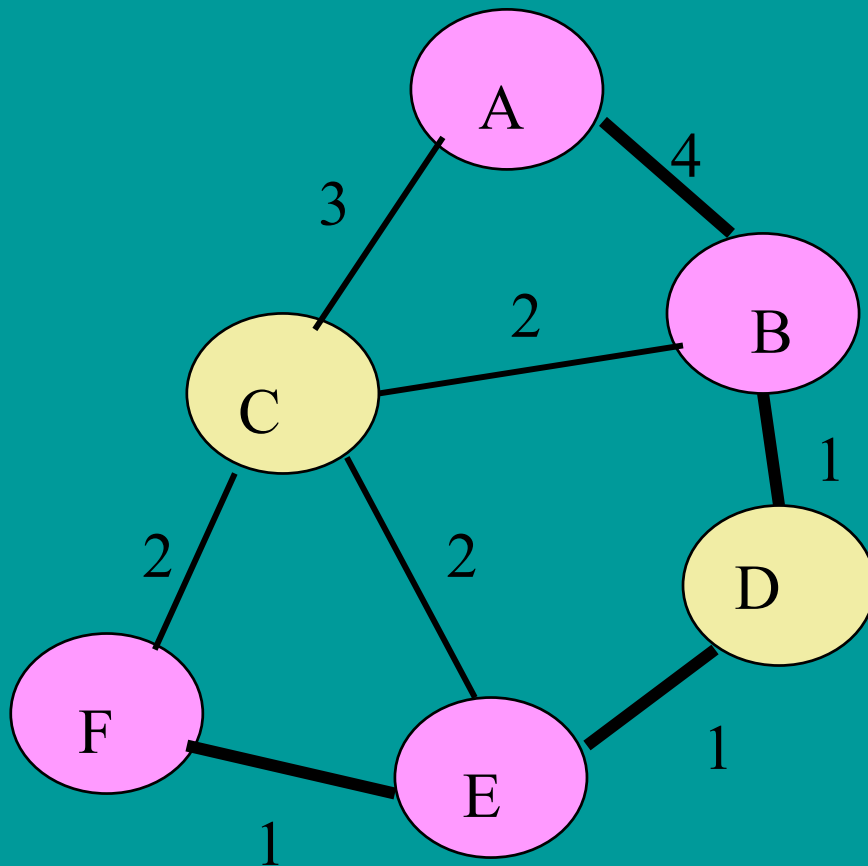


B:n lähettäessä

## Reititys käyttäen yhtä puuta koko ryhmälle

- **Löydettävä puu, joka yhdistää kaikki ryhmän reitittimet**
  - mukana myös muita reitittämiä
  - puun kustannus on sen linkkien kustannusten summa
- **pienimmän kustannuksen puu**
  - NP-täydellinen ongelma (Steiner tree problem)
    - suht.koht. hyviä heuristisia ratkaisuja on
    - ei ole käytössä Internetissä
      - tiedettävä kaikki kaikki linkkikustannukset
      - kustannusten muuttuessa laskettava uudelleen
      - jo muutenkin laskettujen kustannusten hyödyntäminen

# Pienimmän kustannuksen monilähetyspuu



A, B, E ja F:  
reitittimillä  
ryhmän jäseniä



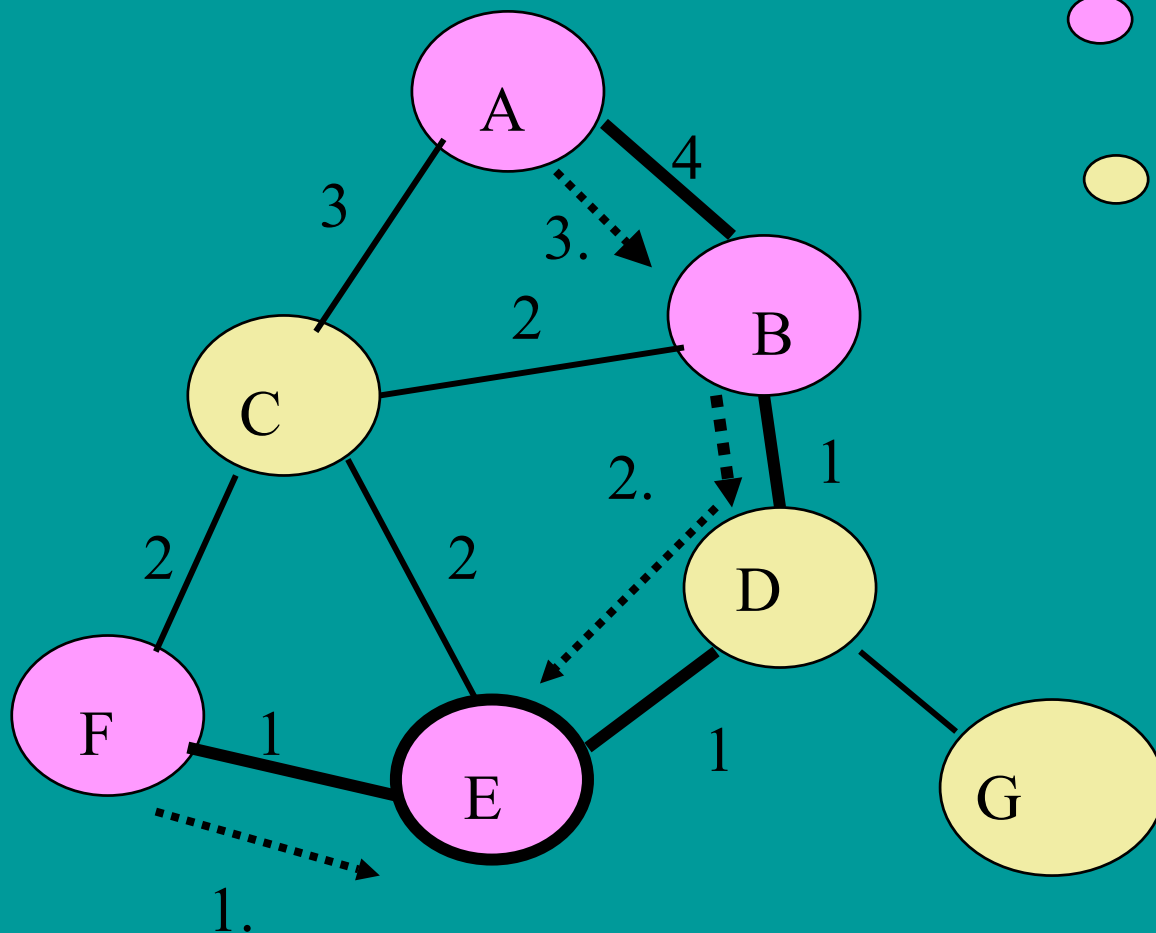
C ja D:  
reitittimillä ei  
ole ryhmän  
jäseniä



## Keskuspohjainen reititys (Center-based routing)

- Ryhmän puun keskuksena on jokin solmu, johon muut myöhemmin liittyvät
  - ensin saadaan selville keskussolmu
  - muut liittyvät siihen JOIN-sanomilla
    - yksilähetyksiä keskussolmulle
  - Miten keskussolmu valitaan?
    - Voidaan valita siten, että puu on melko lähellä optimia

# Keskuspohjainen monilähetyspuu



- A, B, E ja F:  
reitittimillä ryhmän jäseniä
- C ja D:  
reitittimillä ei ole ryhmän jäseniä