

- **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**

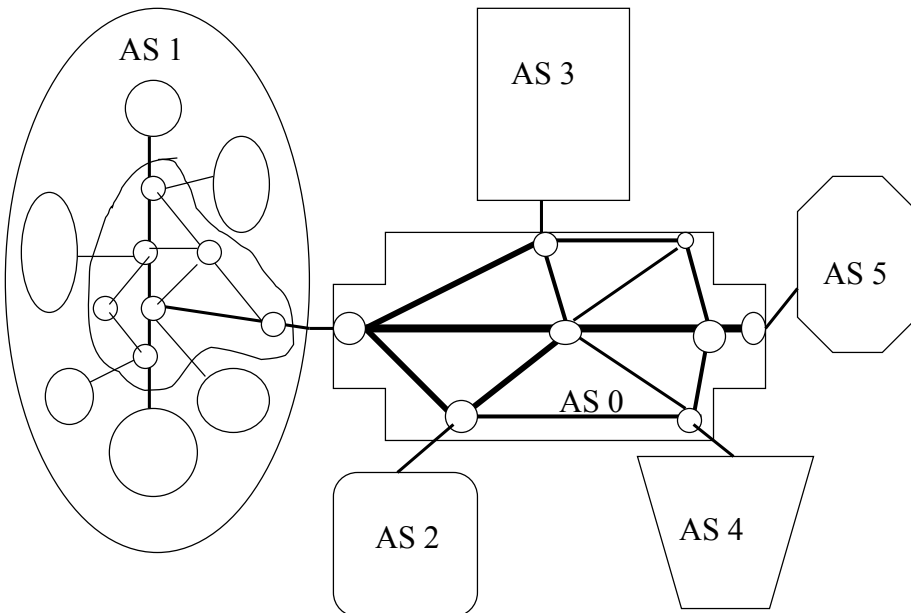
- **alue 0**

- kaikki alueet kiinni runkolinjassa ja liikenne alueelta toiselle käy aina runkolinjan kautta

10/8/2002

39

Iso AS voi koostua useasta alueesta.

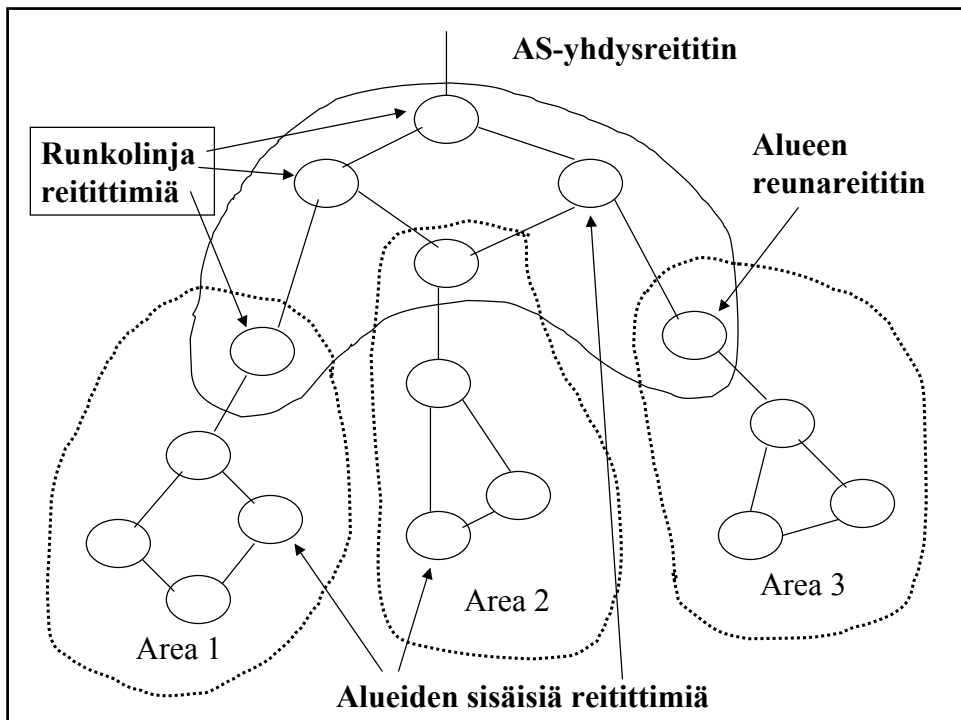


4 reitintyyppiä

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

10/8/2002

41



- **toiminnassa tarvitaan kolmenlaisia reittejä**

- alueen sisäisiä
 - reititin itse tietää lyhyimmän reitin
- alueiden välisiä
 - alueiden väliset reitit kulkevat **aina runkolinjaa pitkin**
 - reititin 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 reititys algoritmista
 - yksi kutakin aluettaan varten

• AS:ien välillä

- AS:eissä voidaan käyttää erilaisia reititysprotokollia
 - linkktilareititystä tai etäisyysvektorireititystä
 - 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 lyhimvät reitit
 - alueensa /alueittensa sisällä

• **runkoverkon reititin lisäksi**

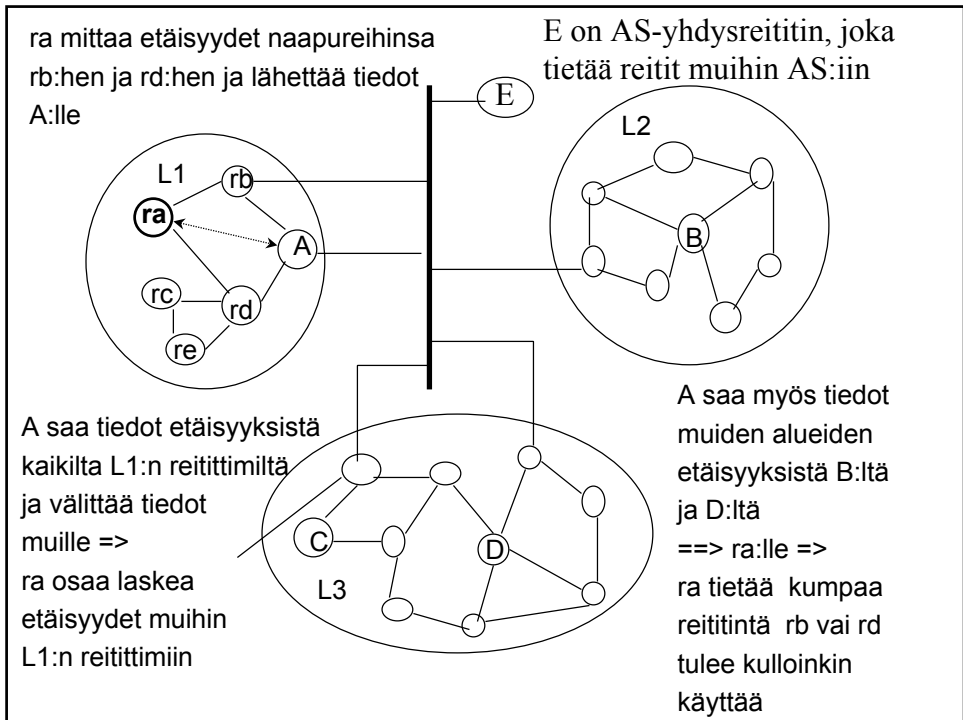
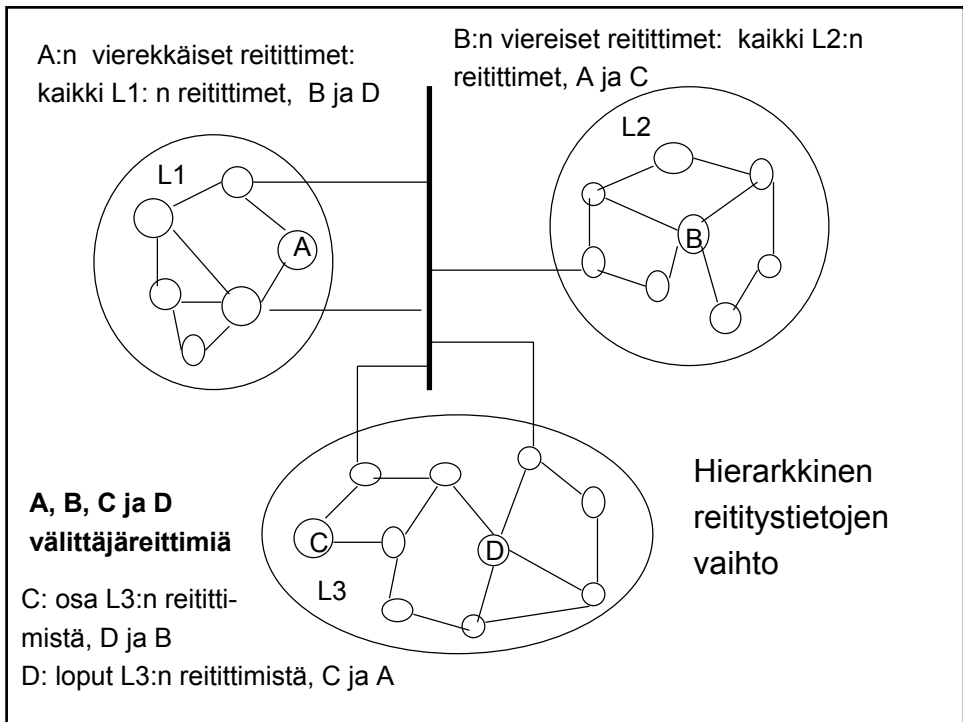
- saa alueiden reunareitittimiltä tietoja, joista laskee parhaat reitit runkoverkon reitittimistä kaikkiin muihin reitittimiin
- palauttaa tiedot reunareitittimille, jotka levittävät ne alueensa sisäisille reitittimille

• **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



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 toimintapolitiikka
 - 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

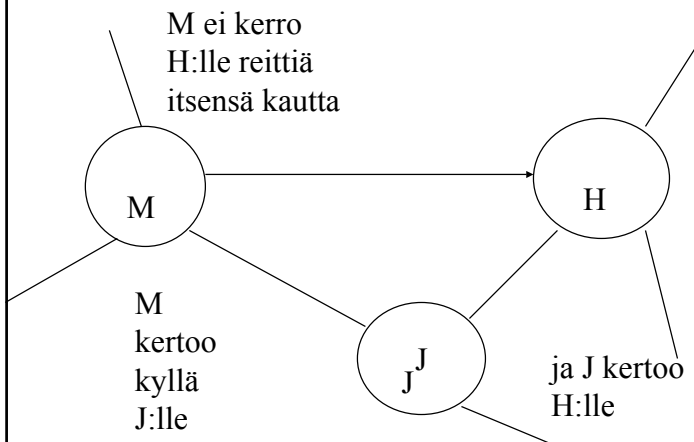
• **BGP näkee verkon joukkona AS:iä**

- 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
- **reitin 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

10/8/2002

59

Monilähetysreititys

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

10/8/2002

60

- **paketti monelle vastaanottajalle**
 - useita kaksipistelähettyksiä: 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)
 - estimoit virittävää puuta

○
○
○

Monilähetys

- **Monilähetysryhmä**
 - ryhmäosoite (Luokan D osoite)
 - vastaanottajaryhmän hallinta
 - ryhmien muodostus, poistaminen
 - vastaanottajien lisääminen, poistaminen
- **Monilähettyksen reitittäminen**
 - reitittimet tietävät ketkä kuuluvat mihinkin ryhmään
 - laskevat lyhimmät 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

10/8/2002

63

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

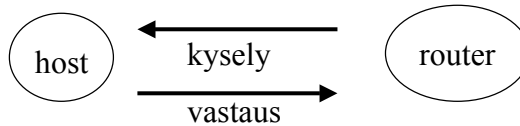
10/8/2002

64

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



10/8/2002

65

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

10/8/2002

66

IGMP-sanoma

Type	max. response time	checksum
Multicast Group Address		

Type = mikä sanoma kyseessä

max. response time = maksimivastausaika kyselyissä

Checksum = taskistussumma

Multicast Group Address = monilähetysryhmän osoite

10/8/2002

67

Maksimivastausaika?

- **Optimointia varten, esim. LAN-verkoissa, joissa kaikki kuulevat kaikki sanomat**
 - reititin haluaa tietää vain onko kukaan sen LANin koneista kiinnostunut tietystä 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

10/8/2002

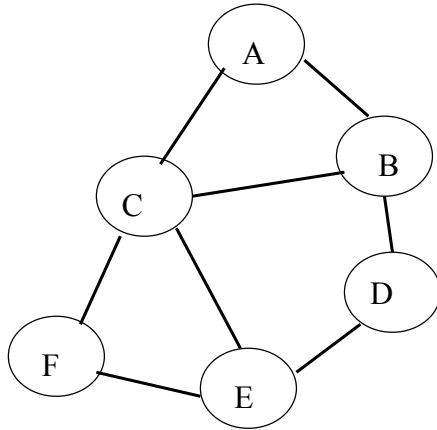
68

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 linkejä pitkin



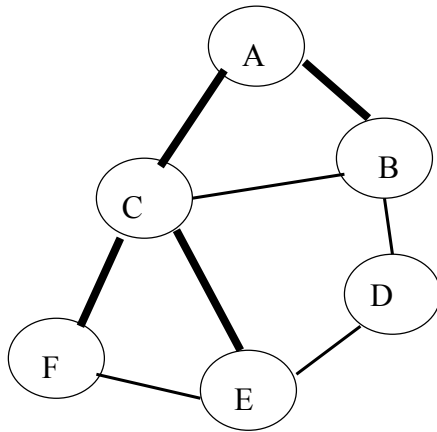
○ A, B, E ja F:
reitittimillä
ryhmän jäseniä

○ 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

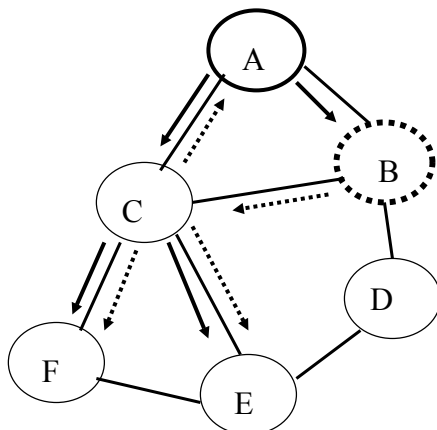
○ C ja D:
reitittimillä ei
ole ryhmän
jäseniä

— reitityslinkki

10/8/2002

73

Eri lähettäjiille omat puut



○ A, B, E ja F
:reitittimillä
ryhmän jäseniä

○ C ja D:
reitittimillä ei
ole ryhmän
jäseniä

→ A:n lähettäessä

..... B:n lähettäessä

10/8/2002

74

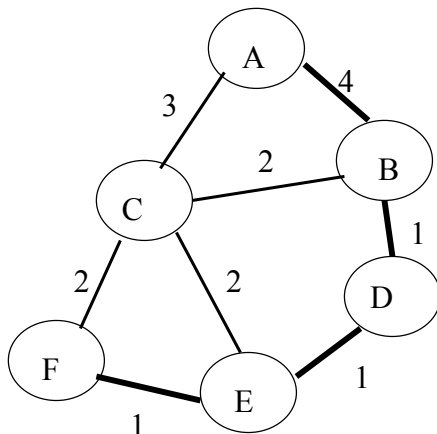
Reititys käyttäen yhtä puuta koko ryhmälle

- **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

10/8/2002

75

Pienimmän kustannuksen monilähetyspuu



○ A, B, E ja F:
reitittimillä
ryhmän jäseniä

○ C ja D:
reitittimillä ei
ole ryhmän
jäseniä

10/8/2002

76

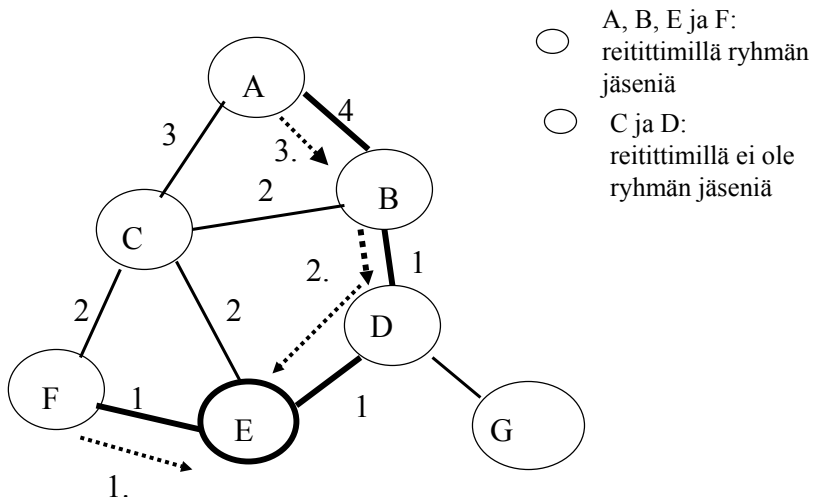
Keskuspohjainen reititys (Center-based routing)

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

10/8/2002

77

Keskuspohjainen monilähetyspuu



10/8/2002

78