

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
- Neighbor
 - Näiltä on jo saatu HELLO-paketti

Tilatietojen vaihto

- **database description**

- Asymmetrinen: isäntä ja orja
- Ensin sovitaan roolit ja sitten isäntä kertoo dd-paketeissaan tietokantansa tietueista ja orja omistaan saamiensa dd-pakettien kuittauksissa
 - ‘Näistä minulla on tietoa.’

- **Jos toisella on sellaista tietoa, mitä itseltä ei löydy, niin sitä pyydetään**

- Link state request⁸¹

Linkin tila muuttuu

- **tieto tästä (ilmoitus) tulvitetaan muille**
 - Link state update
 - Pidetään kirjaa jo nähdyistä
 - Ilmoitukset kuitataan
 - Link state ack
 - Kuitataan monia tilatietoja yhdellä kertaa
 - Välittäjäreitittimen lähetyksen kuulee myös alkuperäinen lähettäjä
 - Yleislähetys “ kaikki OSPF-reitittimet

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)

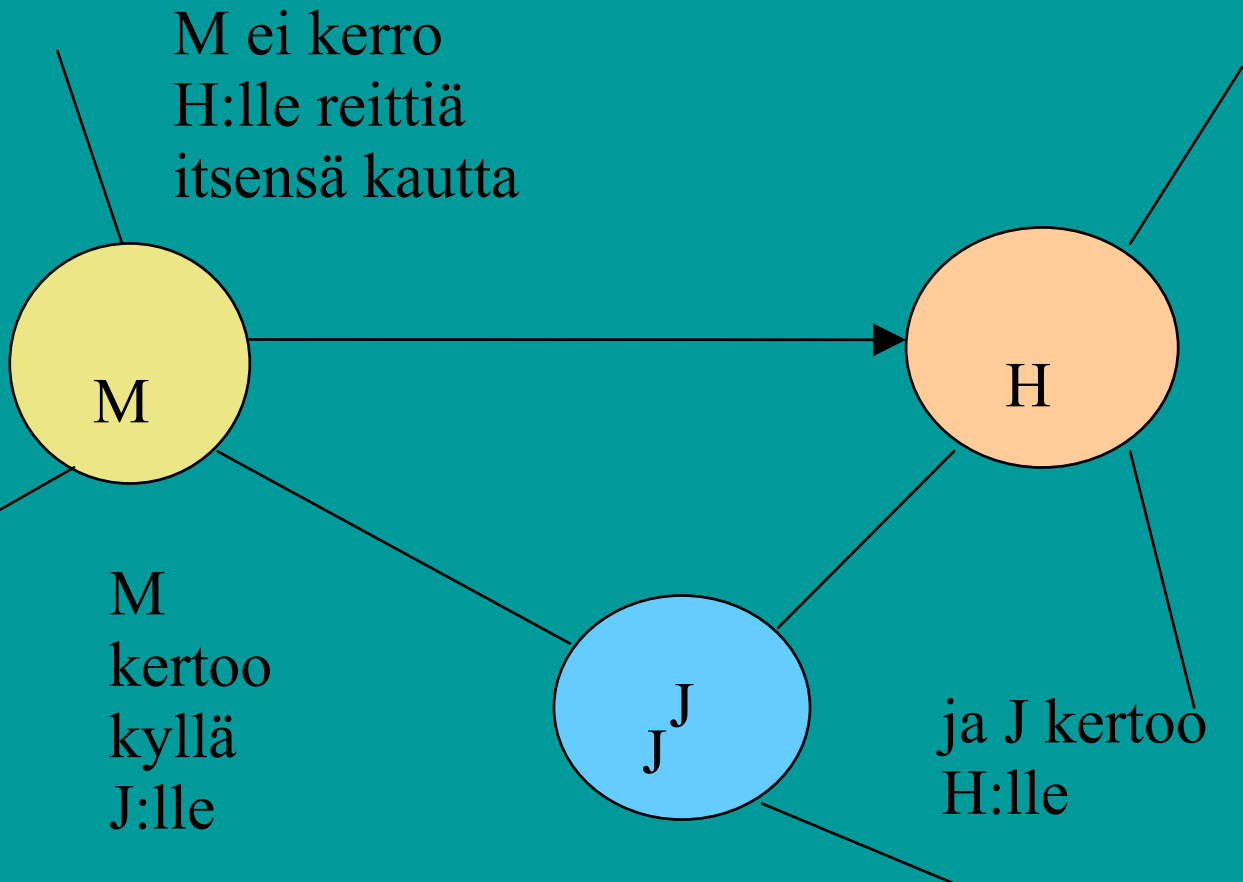
- pohjimmiltaan etäisyysvektoriprotokolla
 - **polkuvektori**
 - tallettaa kunkin reitin koko polun
 - ei kustannustietoja, vaan polulla olevat AS:t
 - havaitaan mahdolliset silmukat!
 - kertoo naapureilleen käyttämänsä reitin
 - hylkää itsensä kautta kulkevat reitit, jotta ei synny silmukoita
 - keino 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
- 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

4. 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)
 - estimoii 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 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

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

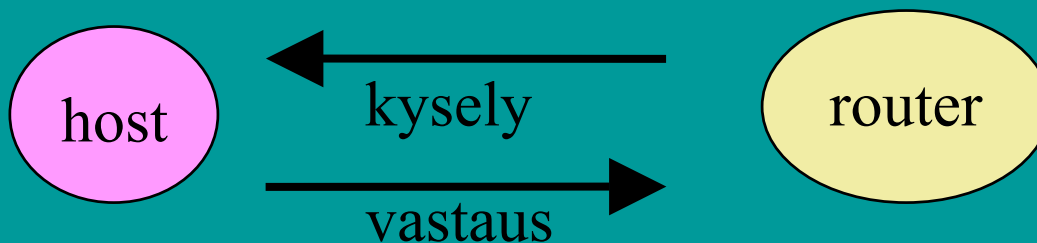
- monilähetysreitittimet kyselevät

- noin minuutin välein kysyvät kaikilta koneiltaan, mihin ryhmään kuuluvat

- 224.0.0.1-osoitteella

- koneet vastaavat

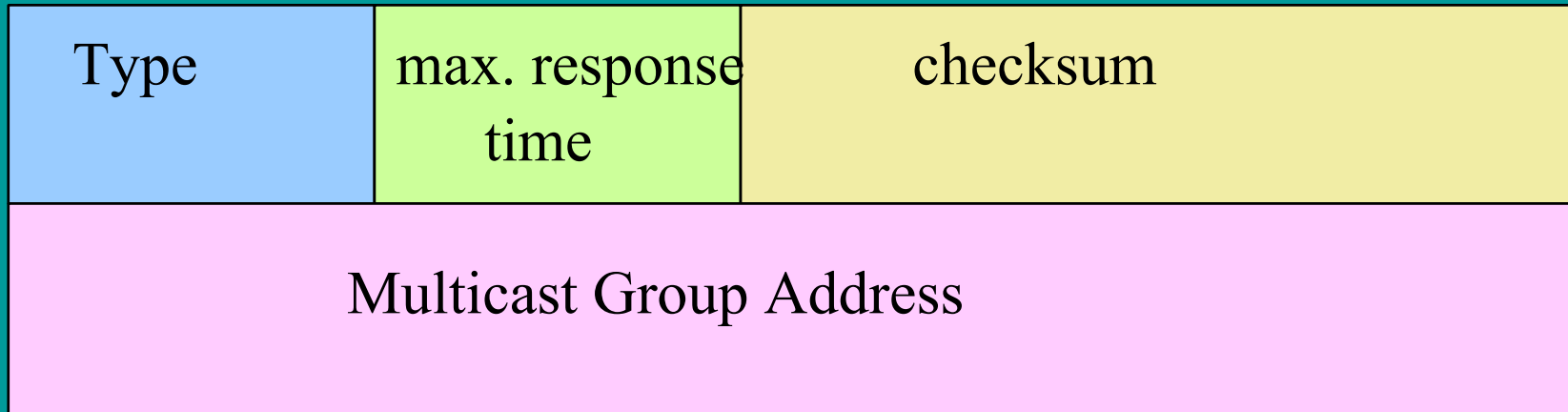
- ilmoittamalla kaikkien niiden ryhmien D-osoitteet, joihin jokin niiden sovellus on liittynyt



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?

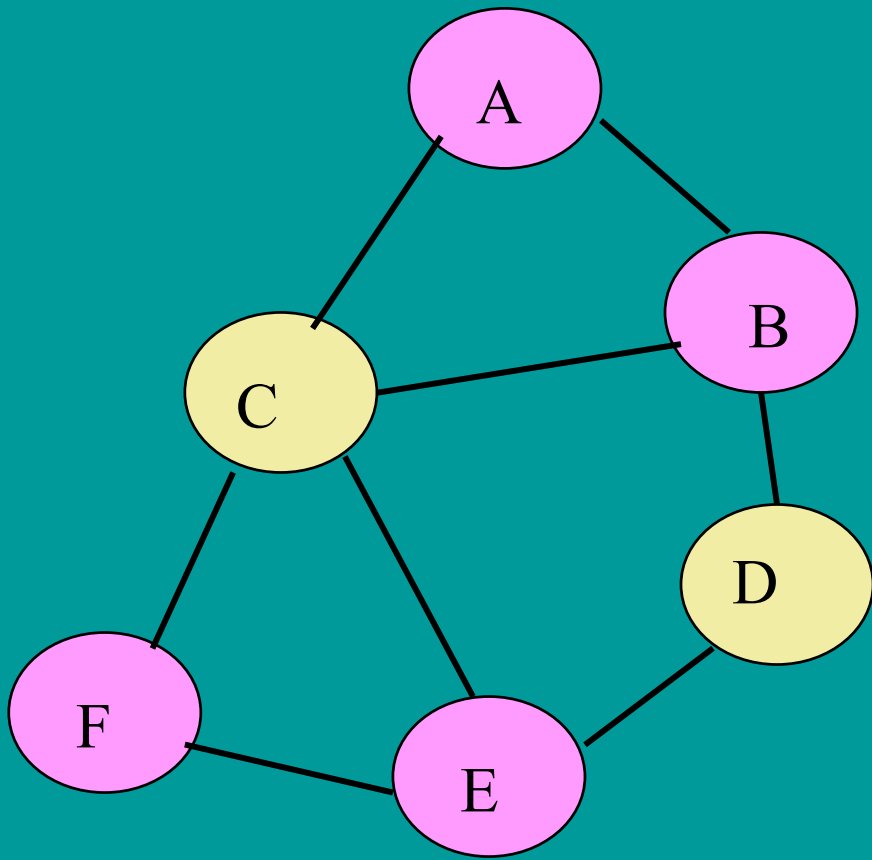
- Optimointia varten, esim. LAN-verkoissa, joissa kaikki kuulevat kaikki sanomat
 - reititin haluaa tietää vain onko kukaan sen LANin koneista kiinnostunut tietyistä ryhmästä
 - ei sitä ketkä koneista haluavat ryhmän jäseniksi
 - ei edes montako sen koneista on tietyn ryhmän jäseninä
 - koneet vastaavat 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

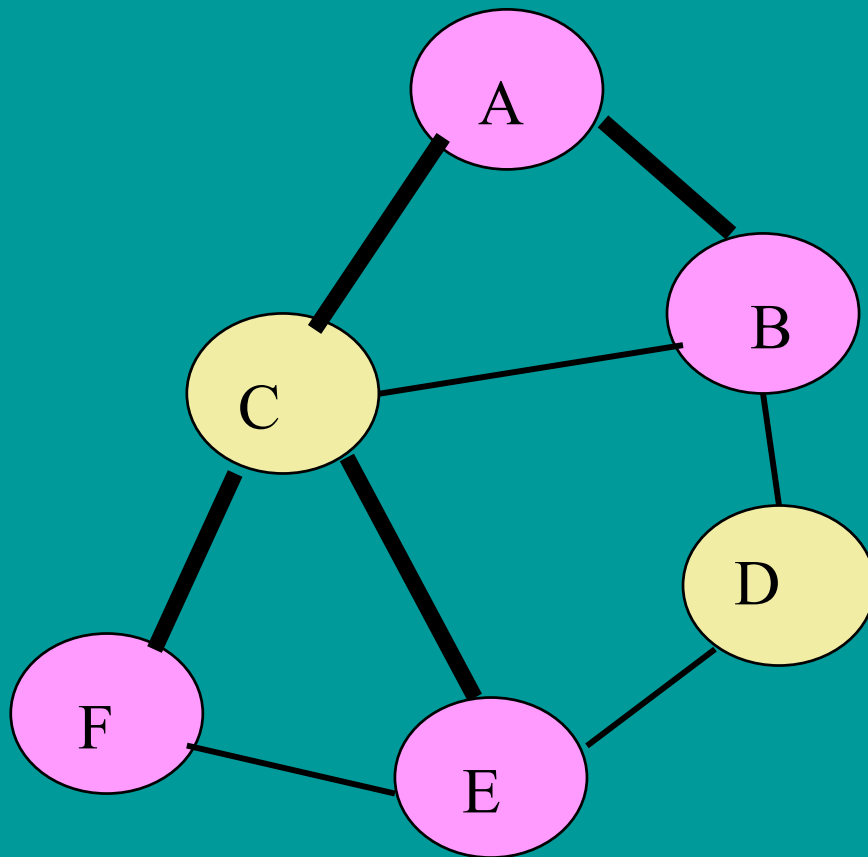


C ja D:
reitittimillä ei
ole ryhmän
jäseniä

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

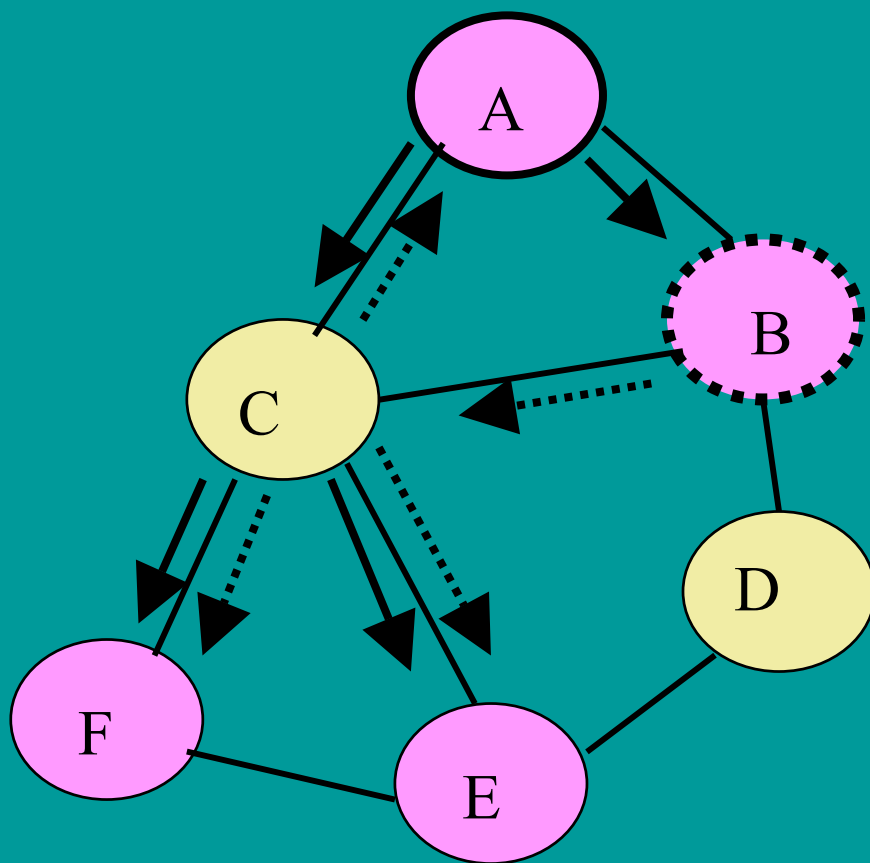


C ja D:
reitittimillä ei
ole ryhmän
jäseniä



reitityslinkki

Eri lähettäjäille omat puut



A, B, E ja F
:reitittimillä
ryhmän jäseniä



C ja D:
reitittimillä ei
ole ryhmän
jäseniä



A:n lähettäessä

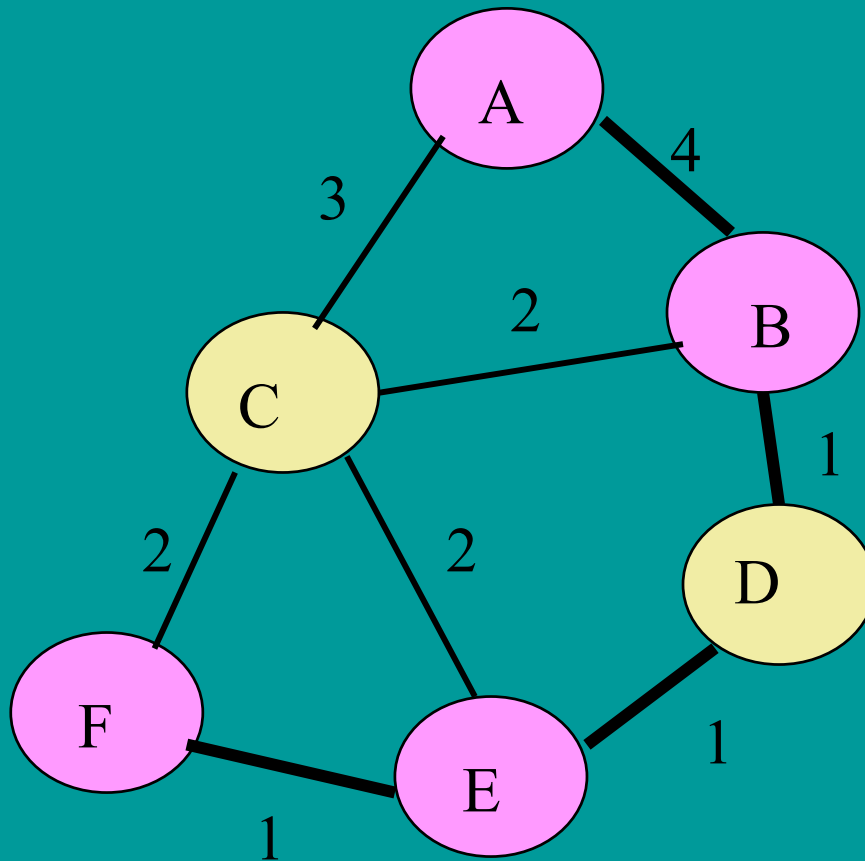


B:n lähettäessä

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

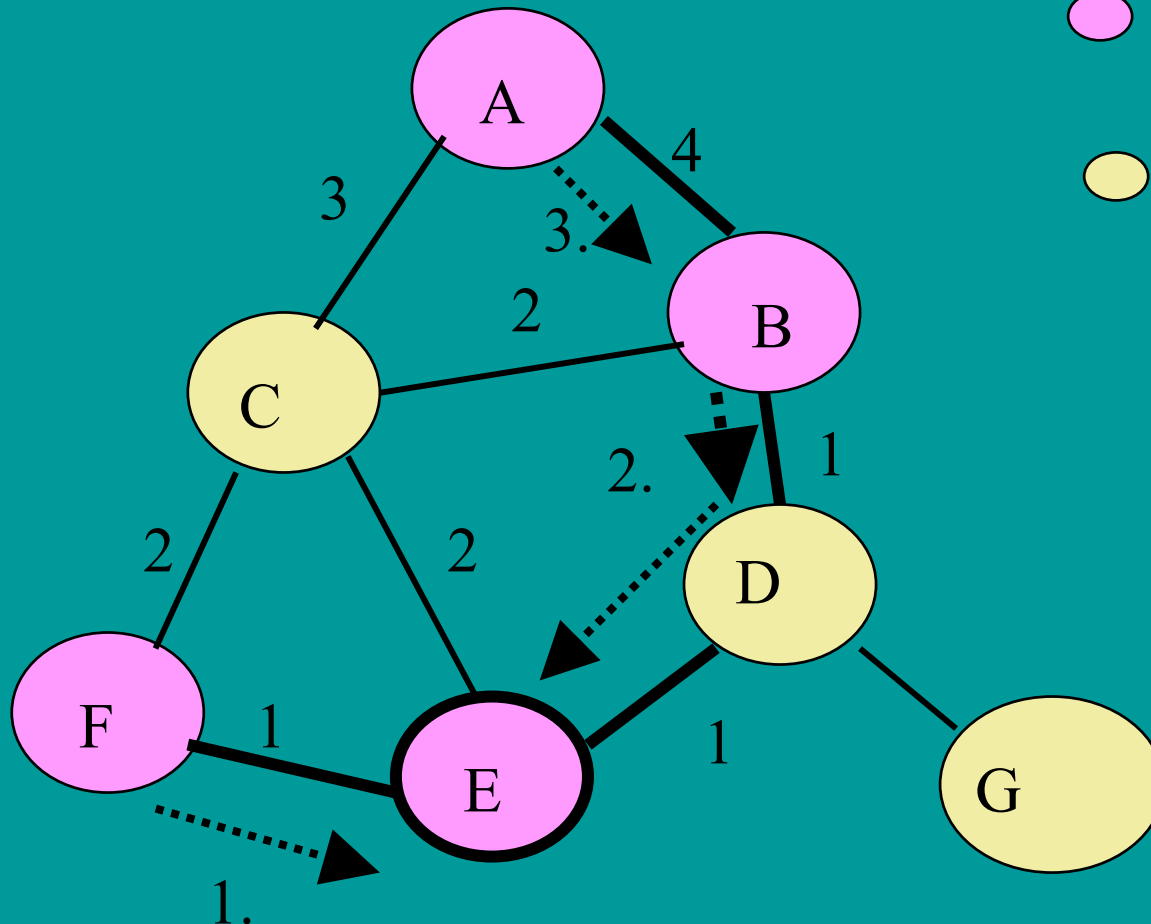


C ja D:
reitittimillä ei
ole ryhmän
jäseniä

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?
 - Valitaan 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

Ratkaisevaa on keskussolmun järkevä valinta

Jokaiselle lähettäjälle oma puu

- Tavallisessa reitityksessä jo yleensä lasketaan pienimmän kustannuksen puu lähettäjältä muihin solmuihin
 - Dijkstra => reititystaulu
 - least unicast-cost path tree = näiden polkujen yhdistelmä
- Reverse path forwarding
 - “Älä turhaan lähetä tänne” (pruning)
- paljon puita
 - N lähettäjä => N puuta
 - reitityksessä käytetty puu valitaan lähettäjän mukaan

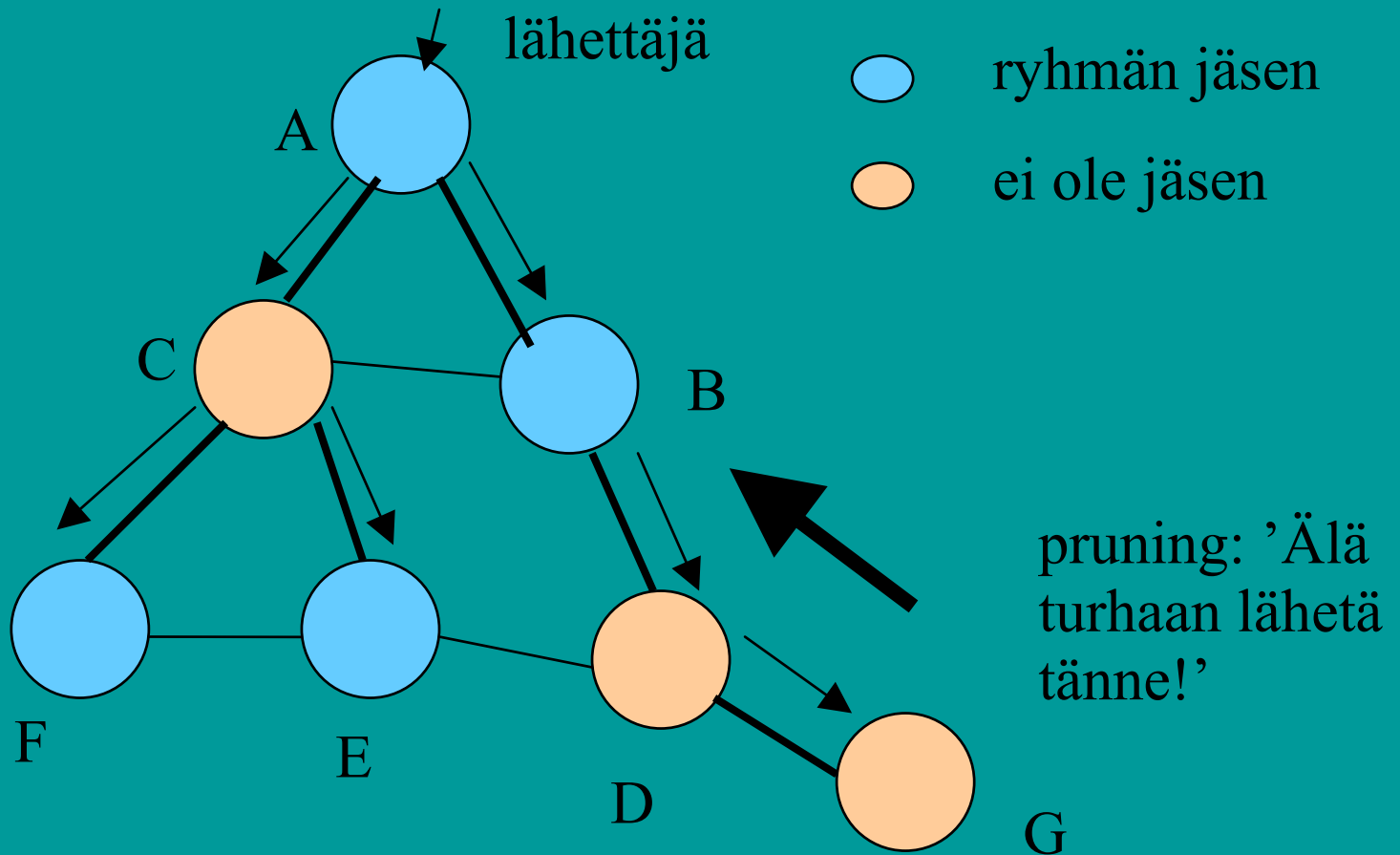
Reverse path forwarding -algoritmi

■ idea

- tuliko paketti portista, josta normaalisti lähetetään paketin aloittaneelle solmulle?
 - jos tuli, paketti kopioidaan kaikkiin muihin portteihin
 - jos ei tullut paketti tuhoetaan kaksoiskappaleena

■ edut

- tehokas ja helppo toteuttaa
- ei tarvitse tuntea virittävää puuta
- ei ylim. yleisrasitetta (kohdelista, lisäbittejä)
- tulvitus päättyy itsestään



Monilähetysreititys Internetissä

- **DVMRP** (Distance Vector Multicast Routing Protocol) (RFC 1075)
 - kullekin lähteelle oma puu
 - käyttäen ‘reverse path forwarding’-menetelmää ja karsimista (pruning) ja lisäämistä (graft)
 - etäisyysvetorialgoritmin avulla kukin reititin laskee lyhyimmän polun jokaiseen mahdolliseen lähteeseen ja tallettaa linkin (next hop)
 - tieto puussa ‘alavirtaan’ sijaitsevista reitittimistä, jotta tiedetään, milloin haara voidaan karsia
 - kun kaikki reitittimet ilmoittavat, etteivät enää ole kiinnostuneita

Muita

- **MOSPF** (Multicast Open Shortest Path First) (RFC 1584)
 - OSPF:ää käyttävissä AS:issä
 - linkkitilailmoituksissa myös tieto monilähetysryhmien jäsenyydestä
 - kaikki reitittimet tietävät, mihin monilähetysryhmiin muiden reittimien isäntäkoneet kuuluvat
 - voivat laskea kullekin lähteelle oman ennaltakarsitun lyhyimmän polun puun kullekin monilähetysryhmälle