

## 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

18.9.2003

80

## 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 lähtevä paketteja ei reititetä Irakin kautta.'
      - 'Viikonloppuisin käytetään reittiä abc.'

18.9.2003

83

## Tilatietojen vaihto

- **database description**
  - Asymmetrinen: isäntä ja orja
  - Ensimmäin 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

18.9.2003

81

## BGP (jatkuu)

- pohjimmiltaan etäisyysvektori-protokolla
  - **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

18.9.2003

84

## 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
    - Yleislähetyks " kaikki OSPF-reitittimet

18.9.2003

82

- BGP näkee verkon joukkona AS:iä
  - jokaisella AS:lla oma tunnus (ASN)
  - reitittimellä on reititustalussaan 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

18.9.2003

85

## BGP:n toiminta

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

18.9.2003

86

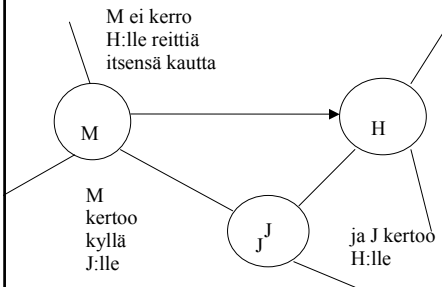
## Sanomien lähettämiseen käytetään TCP:tä

- 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

18.9.2003

89

## Reittien salaaminen



18.9.2003

87

## 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

18.9.2003

90

## BGP-sanomat

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

18.9.2003

88

## 4. Monilähetysreititys

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

18.9.2003

91

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

18.9.2003

92

## D-osoitteet

- monilähetys 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

18.9.2003

95

## Monilähetys

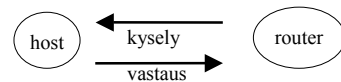
- Monilähetysryhmä
  - ryhmäosoite (Luokan D osoite)
  - vastaanottajaryhmän hallinta
    - ryhmien muodostus, poistaminen
    - vastaanottajien lisääminen, poistaminen
- Monilähetysten reitittäminen
  - reitittimet tietävät ketkä kuuluvat mihinkin ryhmään
    - laskevat lyhimmat reitit vastaanottajiin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

18.9.2003

93

## 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



18.9.2003

96

## 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

18.9.2003

94

## 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

18.9.2003

97

## IGMP-sanoma

Type	max. response time	checksum
Multicast Group Address		

Type = mikä sanoma kyseessä

max. response time = maksimivastausaika kyselyissä

Checksum = taskistussumma

Multicast Group Address = monilähetyserhmän osoite

18.9.2003

98

## Monilähetyseroititys (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

18.9.2003

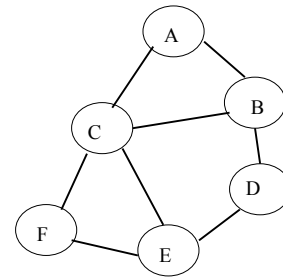
101

## Maksimivastausaika?

- Optimointia varten, esim. LAN-verkoissa, joissa kaikki kuuluvat 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

18.9.2003

99



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

○ C ja D:  
reitittimillä ei  
ole ryhmän  
jäseniä

18.9.2003

102

## Internetin monilähetyserpalvelumalli

- 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
- Monilähetyserosoitteita ei koordinoita verkkotasolla
  - eri ryhmille voidaan valita sama osoite

18.9.2003

100

## Monireitityserpuun rakentaminen

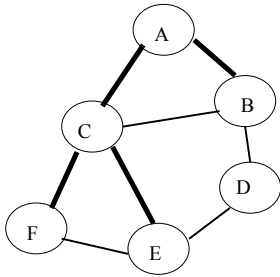
### ▪ Kaksi erilaista lähestymistapaa

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

18.9.2003

103

## Yksi puu koko ryhmälle

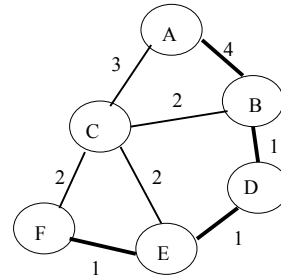


- A, B, E ja F: reitittimillä ryhmän jäseniä
  - C ja D: reitittimillä ei ole ryhmän jäseniä
- reitityslinkki

18.9.2003

104

## Pienimmän kustannuksen monilähetyspuu

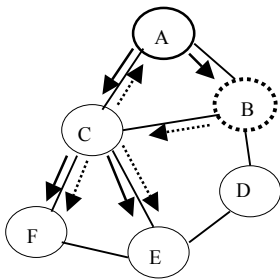


- A, B, E ja F: reitittimillä ryhmän jäseniä
- C ja D: reitittimillä ei ole ryhmän jäseniä

18.9.2003

107

## 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

18.9.2003

105

## Keskuspohjainen reititys (Center-based routing)

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

18.9.2003

108

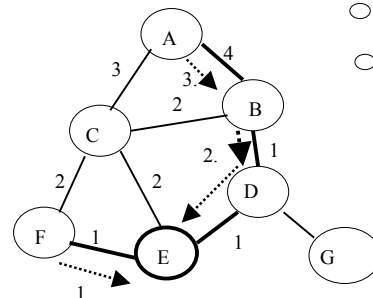
## Reititys käyttäen yhtä puuta koko ryhmälle

- Löydettävä puu, joka yhdistää kaikki ryhmän reitittimet
  - mukana myös muita reitittimiä
  - 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

18.9.2003

106

## Keskuspohjainen monilähetyspuu



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

Ratkaisevaa on keskussolmun järjkevä valinta

18.9.2003

109

## 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 puuta
  - N lähettäjä => N puuta
  - reitityksessä käytetty puu valitaan lähettäjän mukaan

18.9.2003

110

## Monilähetytreititys 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

18.9.2003

113

## Reverse path forwarding -algoritmi

- idea
  - tuliko paketti portista, josta normaalisti lähetetään paketti 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

18.9.2003

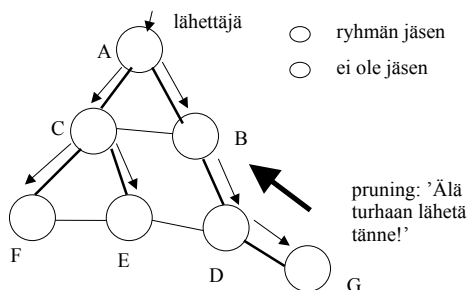
111

## Muita

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

18.9.2003

114



18.9.2003

112