

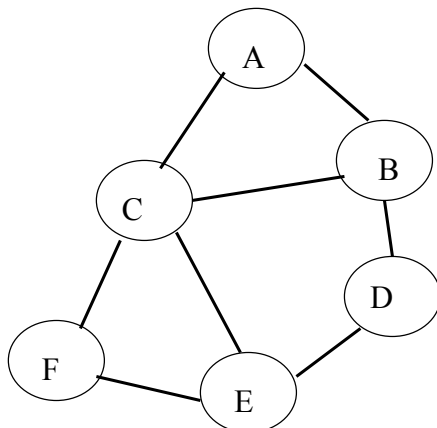
## Monilähetysreititys (multicast routing)

- **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

10/10/2002

70



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

- C ja D:  
reitittimillä ei  
ole ryhmän  
jäseniä

10/10/2002

71

## Monireitityspuun rakentaminen

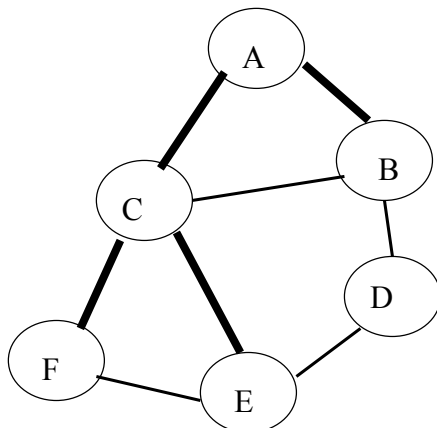
### • Kaksi erilaista lähestymistapaa

- 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

10/10/2002

72

## Yksi puu koko ryhmälle



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

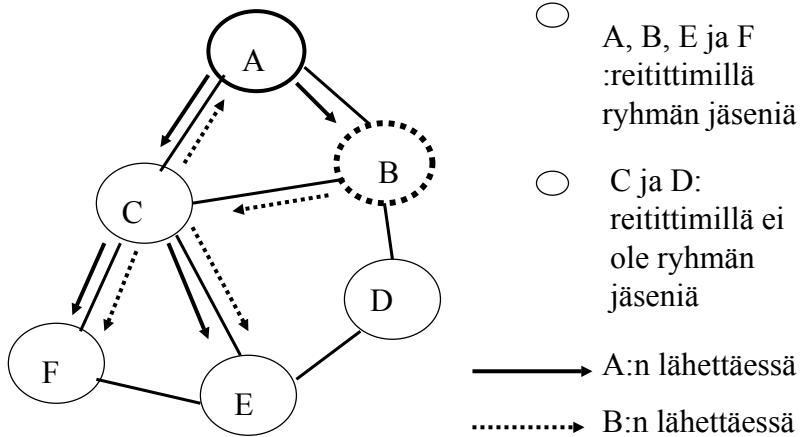
○ C ja D:  
reitittimillä ei  
ole ryhmän  
jäseniä

— reitityslinkki

10/10/2002

73

## Eri lähettäjille omat puut



10/10/2002

74

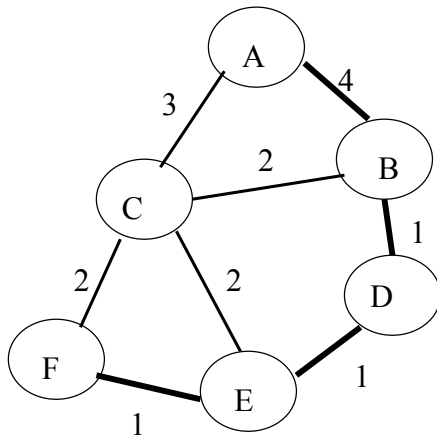
## Reititys käyttäen yhtä puuta koko ryhmälle

- **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

10/10/2002

75

## Pienimmän kustannuksen monilähetyspuu



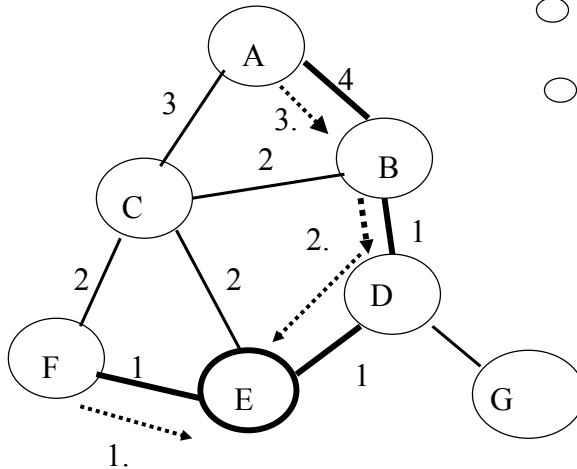
○ A, B, E ja F:  
reitittimillä  
ryhmän jäseniä

○ 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 järjearvä valinta

10/10/2002

78

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

10/10/2002

## Reverse path forwarding -algoritmi

- **idea**

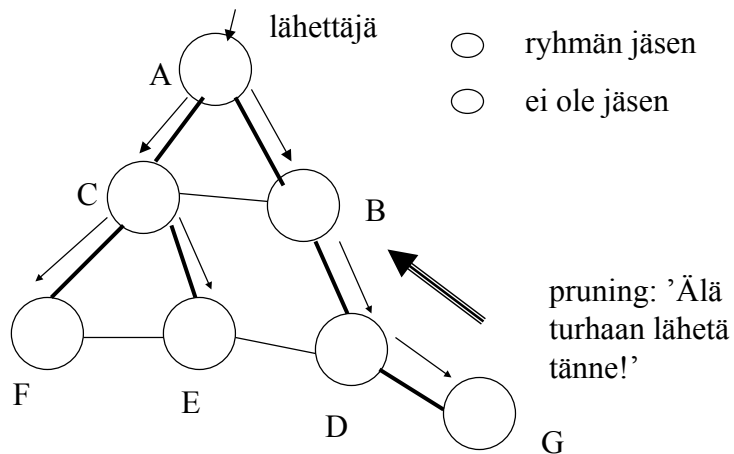
- tuliko paketti portista, josta normaalisti lähetetään paketin aloittaneelle solmulle?
  - jos tuli, paketti kopioidaan kaikkiin muihin portteihin
  - jos ei tullut paketti tuhoetaan kaksoiskappaleena

- **edut**

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

10/10/2002

80



10/10/2002

81



## 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

10/10/2002

82

## 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

10/10/2002

83

## Muita monilähetysprotokollia: CBT

- **CBT (Core-based Trees) (RFC 2201, RFC 2189)**
  - kaksisuuntainen yhteiskäyttöinen puu, jossa yksi keskus
  - sanomia
    - JOIN\_REQUEST keskussolmulle, kun haluaa liittyä ryhmään
    - JOIN\_ACK keskussolmu tai lähin jo ryhmässä oleva reititin
    - ECHO\_REQUEST vieläkö mukana ryhmässä
    - ECHO\_REPLY vielä mukana
    - FLUSH\_TREE poistetaan ryhmästä

## Muita: PIM

- **PIM (Protocol Independent Multicast) (RFC 2362)**
  - dense mode ~ DVMRP
    - tulvita ja karsi sopii hyvin, jos vastaanottajia on 'tiheään'
  - sparse mode ~ CBT
    - JOIN-sanomia, jotka ohjataan yksilähetystenä keskussolmuun
    - polulla olevat reitittimet monilähetysmoodiin
    - keskussolmu lähettää monilähetystenä muille
    - yksi puu  $\Leftrightarrow$  lähettäjälle oma puu



## Mobile IP

- **IP-reititys IP-osoitteen perusteella**
  - koneen osoite riippuu verkosta, jossa kone sijaitsee
  - kun kone siirtyy toiseen verkkoon tilapäisesti, osoite ei ole enää voimassa
    - koneelle uusi osoite tässä verkossa?
      - Tieto uudesta osoitteesta muille?
      - TCP-yhteys katkeaa
        - saumaton siirtyminen tuntumattomasti ei ole mahdollinen
    - kaikille koneille verkosta riippumaton osoite?

## Liikkuvien isäntäkoneiden reititys

- **liikkuva kone (mobile host)**
  - kotiosoite (home address, home location)
  - kotiagentti (home agent)
    - tietää, missä omat liikkuvat ovat
- **kun ilmaantuu vieraalle alueelle, se rekisteröityy**
  - vierasagentti (foreign agent)
    - hoitaa alueelle tulleet vieraat liikkuvat

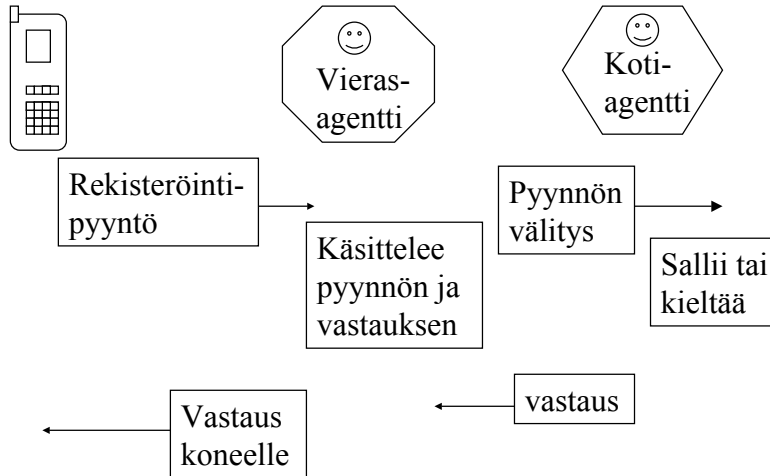
## Liikkuvien isäntäkoneiden reititys

- **liikkuva kone (mobile host)**
  - kotiosoite (home address, home location)
    - pysyvä osoite omassa verkossa,
    - aina tavoitettavissa tällä osoitteella
  - kotiagentti (home agent)
    - tietää, missä omat liikkuvat ovat
    - jos ei liikkuva kone ei ole kotiverkossa, kotiagentti osaa ohjata sille tulevat sanomat liikkuvan uuteen osoitteeseen

## • kun liikkuva kone ilmaantuu vieraalle alueelle, se rekisteröityy alueen

- vierasagentille (foreign agent)
  - joka hoitaa alueelle tulleet vieraat liikkuvat
  - antaa niille osoitteen (care of address)
    - tämän verkon osoite
  - tarkistaa vieraan tiedot sen kotiagentilta
  - ilmoittaa kotiagentille koneen uuden osoitteen
- näin kotiagentti tietää uuden sijainnin

## Uudelle alueelle rekisteröinti



10/10/2002

90

## Rekisteröintipyyntö sisältää:

- **sanoman tyypin (1)**
- **lippuja, mm. haluttu tunnelointitapa**
- **rekisteröinnin keston**
- **koneen kotiosoitteen, kotiagentin osoitteen ja koneen vierasverkon osoitteen**
- **rekisteröintipyyntönnön tunnisteiden**
- **laajennuksia, mm. autentikointilaajennus**

10/10/2002

91

## Rekisteröintivastauksessa:

- **Sanoman tyyppi (3)**
- **hyväksyttiin vai hylättiin rekisteröintipyyntö, kuka hylkäsi kotiagentti vai vierasagentti**
- **hyväksytty rekisteröinnin kesto**
- **pyynnön tunnistus**
  - liittyy vastauksen pyyntöön
- **laajennusosia mm. autentikointi**

## Rekisteröinnissä ongelma on turvallisuus

- **Tekeytyminen vierasagentiksi**
  - haluaa kaapata koneen liikenteen
  - tehokas autentikointi estää
    - autentikoinnin laajennusosa
      - MN -->FA, MN --> HA, FA --> HA
- **vanhojen rekisteröintipyyntöjen lähettäminen kotiagentille**
  - kotiagentille väärä osoite => koneelle ei voi lähettää kotiosoitteella
  - pyyntöihin aikaleimat

## Agentin löytäminen verkosta

- **Agentit ilmoittelevat itsestään säännöllisin välein**
  - ilmoituksissa
    - reitittimen osoite
    - rekisteröinnin kesto
    - joukko lippuja: toimiiko vieras- vai kotiagenttina, onko kiireinen, millaista kapselointi kykenee käyttämään
    - vierasosoitteita, vähintään yksi
- **ilmoitusten avulla kone havaitsee siirtyneensä toiseen verkkoon**
  - agentin osoite vaihtuu => uudelleenrekisteröinti
  - kotiverkossa, kun saa ilmoituksia omalta kotiagenttiltaan

10/10/2002

• peruutettava rekisteröinti

94

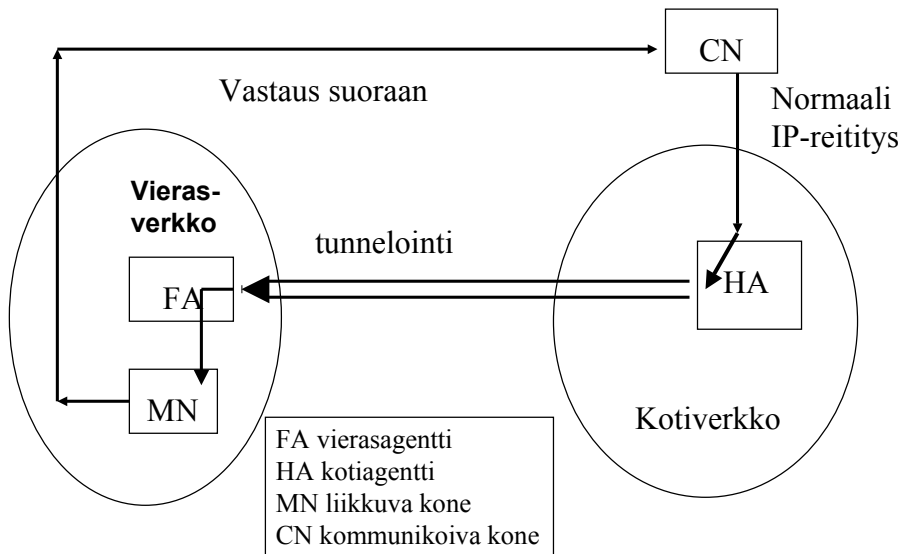
## • **Liikkuva kone kysyy itse agenttia**

- huomaa liikkuneensa toiseen verkkoon, kun alkaa saada sanomia toisella taajuudella
- lähettää verkkoon kyselypyynnön, johon agentti vastaa ilmoituksella suoraan kyselevälle koneelle

10/10/2002

95

## Sanoman reititys vieraassa verkossa olevalle koneelle



## Kotiagentti välittäjänä

- **Kun paketti lähetetään liikkuvalla,**
  - se ohjautuu IP-osoitteen perusteella kotiverkkoon.
  - Kotiagentti ottaa paketin itselleen. Se tietää vastaanottajan nykyisen sijainnin ja ohjaa paketin sinne.
    - Käytetään IP-tunnelointia
    - uusi osoite COA on usein FA:n valvoma osoite

Lähde=HA, Kohde= COA,  
protocol= IP in IP (4)

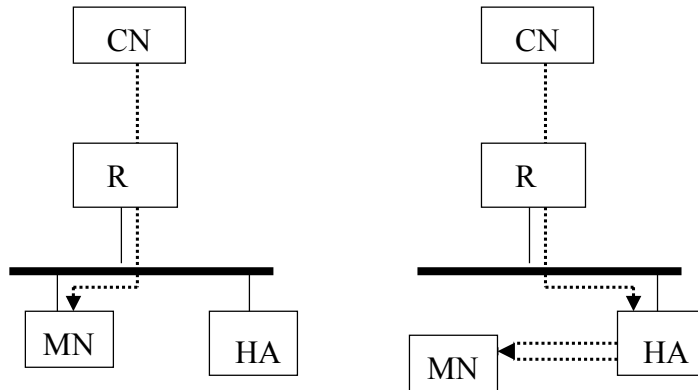
Uusi IP-otsake

Lähde = CD, Kohde =MN  
Protocol = TCP

alkuperäinen IP-paketti

TCP-otsake + data

## Toiminta eetteriverkossa



Normaali reititys

Kotiagentti tunneloi  
sanoman MN:lle

10/10/2002

98

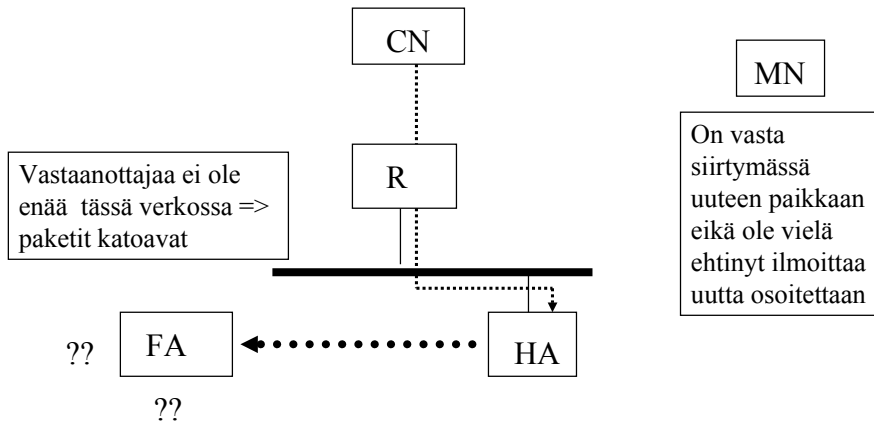
## Kun joku lähettää liikkuvalla paketin

- se tulee ensin reitittimelle
- reititin kysyy vastaanottajan LAN-osoitetta ARP:illa
- jos liikkuva on kotiverkossaan, se vastaa ja ilmoittaa oman koneosoitteensa
- muuten kotiagentti vastaa omalla osoitteellaan ja saa paketin
- kotiagentti lähettää tunneloinnilla vierasosoitteeseen (yleensä vierasagentin oma osoite)
- vierasagentti kysyy ARP:lla vierailijan LAN-osoitetta ('koneosoitetta')
- Ja lähettää sanoman vierailevalle koneelle.

10/10/2002

99

## Ongelma:



10/10/2002

100

## Entä jos vierasverkossa ei ole FA:ta?

- **MN saa tilapäisen IP-osoitteen verkkoon PPP- tai DHCP-protokollalla**
- **käyttäen tätä osoitetta COA-osoitteena se voi itse toimia omana FA:na**
- **Ongelmia:**
  - tunnelointi lisää yleisarasitetta (ylim. IP-otsake) ja viimeinen linkki on hidas radiolinkki
  - liikkuvat tarvitsevat paljon tilapäisiä IP-osoitteita => osoitteet voivat loppua
    - poistuva kone ei aina ilmoita lähdöstään
  - kun kone poistuu, FA katoaa ja matkalla olevat paketit varmasti katoavat

10/10/2002

101





## Mobile IPv6

- **Osoitteita riittää**
  - vierailijat tarvitsevat IP-osoitteita vierailunsa aikana
- **Ei tarvita erityistä vierasagenttia**
  - MN toimii yleensä itse omana vierasagenttinaan
    - neighbor discovery
    - stateless address autoconfiguration
- **Paremmat turvallisuuspiirteet**
  - mm. estämään väärennetyt osoitemuutokset ja toistohyökkäykset (replay attack)

- **Reitin optimointi**
  - turvalaajennoksen avulla MN voi ilmoittaa oman uuden osoitteensa suoraan lähettäjille
    - binding updates/acks/requests
  - kolmioreititystä ei tarvitse turvattomuuden takia käyttää
    - Route Optimization
- **Tehokkaampi kotiagentin löytäminen**
  - Dynamic Home Agent Discovery
    - lähetetään Binding Update-sanoma kotiagenteille anycast-osoitteella, jolloin vain yksi ehkä useasta kotiagentista vastaa.
      - Kotiagentin osoite voi olla muuttunut poissaolon aikana
- **lähdereititysotsakkeen avulla saadaan tehokas kapselointi**
  - two-hop source route
- **Filteroivien palomuurien läpäisy**