

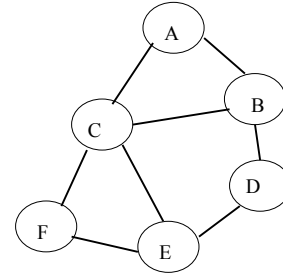
Monilähetysreititys (multicast routing)

• 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

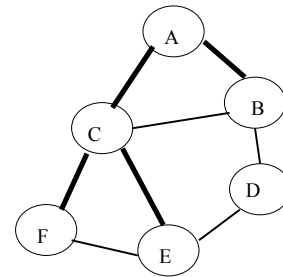
• Kaksi erilaista lähestymistapaa

- 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

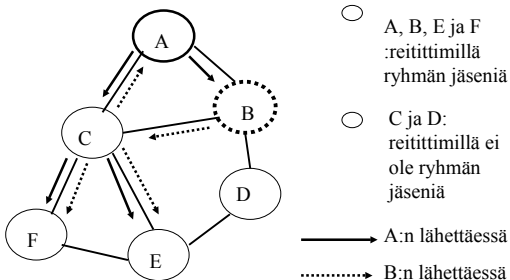


- A, B, E ja F: reitittimillä ryhmän jäseniä
- C ja D: reitittimillä ei ole ryhmän jäseniä
- reitityslinkki

10/10/2002

73

Eri lähettäjille omat puut



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

10/10/2002

74

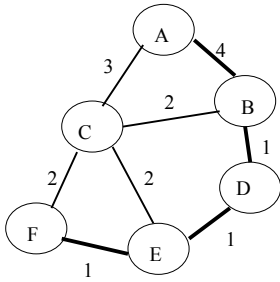
Reititys käyttäen yhtä puuta koko ryhmälle

- **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

10/10/2002

76

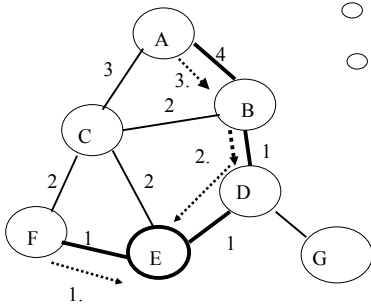
Keskuspohjainen reititys (Center-based routing)

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

10/10/2002

77

Keskuspohjainen monilähetyspuu



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

Ratkaisevaa on keskussolmun järkevä 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 puuta
 - N lähettäjä => N puuta
 - reitityksessä käytetty puu valitaan lähettäjän mukaan

10/10/2002

Reverse path forwarding -algoritmi

• idea

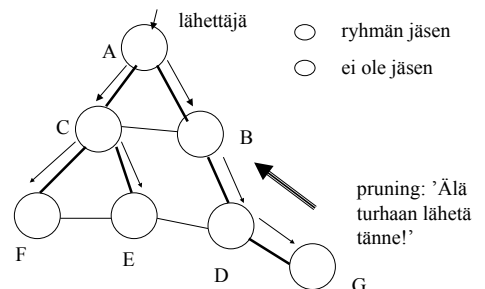
- tuliko paketti portista, josta normaalisti lähetetään pakettin aloittaneelle solmulle?
 - jos tuli, paketti kopioidaan kaikkiin muihin portteihin
 - jos ei tullut paketti tuhoetaan kaksoiskappaleena

• edut

- tehokas ja helppo toteuttaa
- ei tarvitse tunkea 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

- **MOSP (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

10/10/2002

84

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 yksilähetysenä keskussolmuun
 - polulla olevat reitittimet monilähetysmoodiin
 - keskussolmu lähettää monilähetysnä muille
 - yksi puu => lähettäjälle oma puu

10/10/2002

85

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?

10/10/2002

86

Liikkuvien isäntäkoneiden reititys

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

10/10/2002

87

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

10/10/2002

88

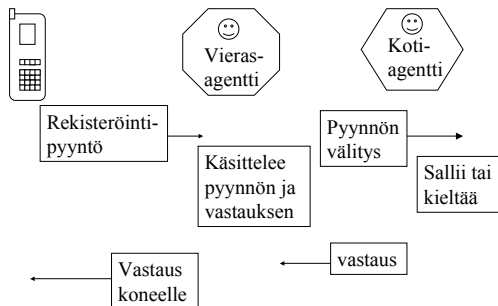
• kun liikkuva kone ilmaantuu vieraalle alueelle, se rekisteröityy alueen

- 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

10/10/2002

89

Uudelle alueelle rekisteröinti



10/10/2002

90

Rekisteröintipyyntö sisältää:

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

10/10/2002

91

Rekisteröintivastauksessa:

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

10/10/2002

92

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

10/10/2002

93

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
 - peruutettava rekisteröinti

10/10/2002

94

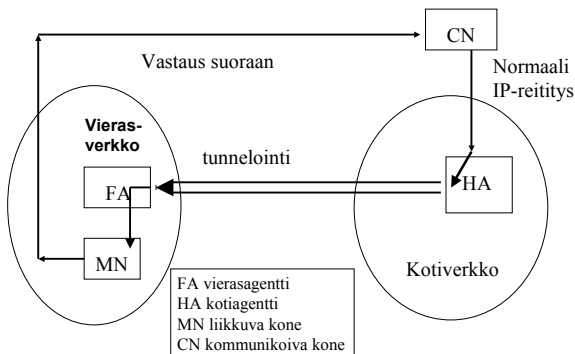
Liikkuva kone kysyy itse agenttia

- 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)

Lähde = CD, Kohde =MN
Protocol = TCP

TCP-otsake + data

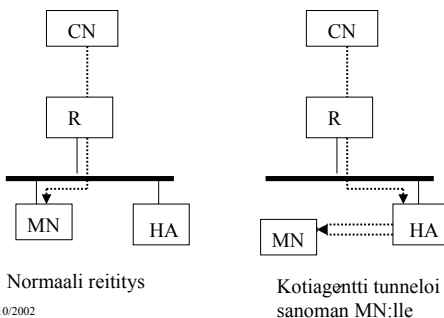
Uusi IP-otsake

alkuperäinen IP-paketti

10/10/2002

97

Toiminta eetteriverkossa



10/10/2002

98

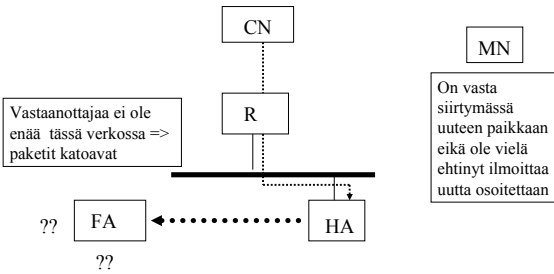
Kun joku lähettää liikkuvalla pakettin

- 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 vierailijalle koneelle.

10/10/2002

99

Ongelma:



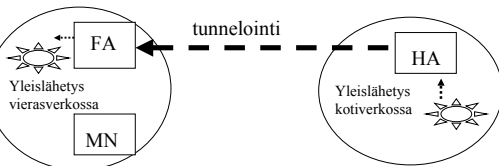
Entä jos vierasverkossa ei ole FA:ta?

- 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 yleisarasetta (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

Monilähetys vierasverkossa olevalle koneelle

• HA ohjaa yksitellen kaikki lähetykset

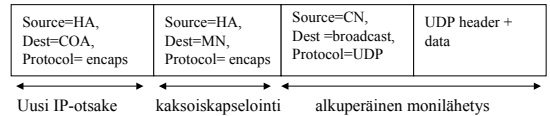
- tehotonta, voi aiheuttaa turhaa kuormitusta
- voi aiheuttaa turhaa monilähetystä
 - tai sitten sanomaa ei toimiteta MN:lle



Monilähetys vierasverkossa olevalle koneelle

• Jos käytössä verkon FA:aa, niin käytetään kaksoiskapselointia:

- HA tietää rekisteröintitiedoista, käyttääkö MN FA:ta vai toimiiko itse oman FA:naan



Järkevämpää tosin olisi rekisteröityä monilähetysryhmään uudelleen vierasverkossa!!

10/10/2002

103

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)

10/10/2002

104

• 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