Aalto-universitetet
Tekniska högskolan

Reititys 2

Autonomisten järjestelmien välinen reititys
Monilähetysreititys

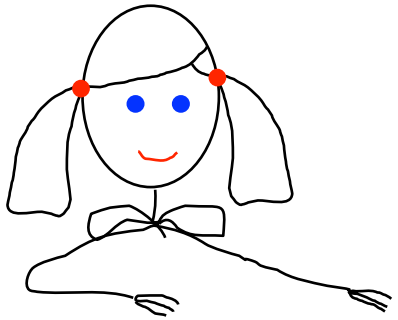
luvut 14 ja 16

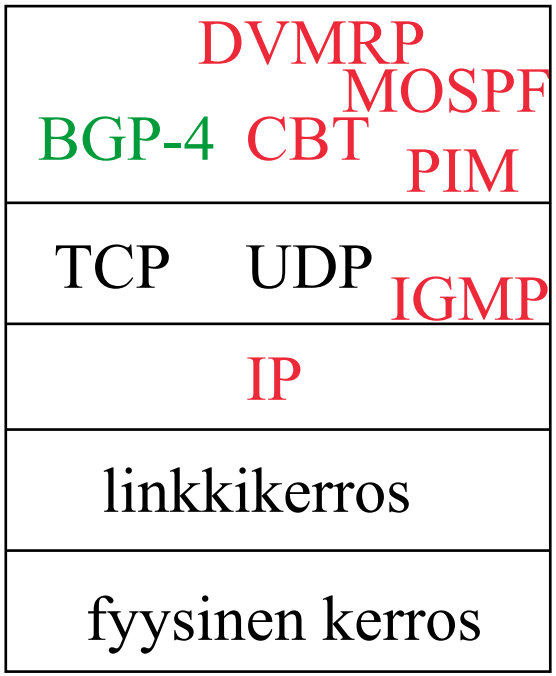
Sanna Suoranta, email: T-110.4100@tkk.fi
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-110.4100

Luennon sisältö

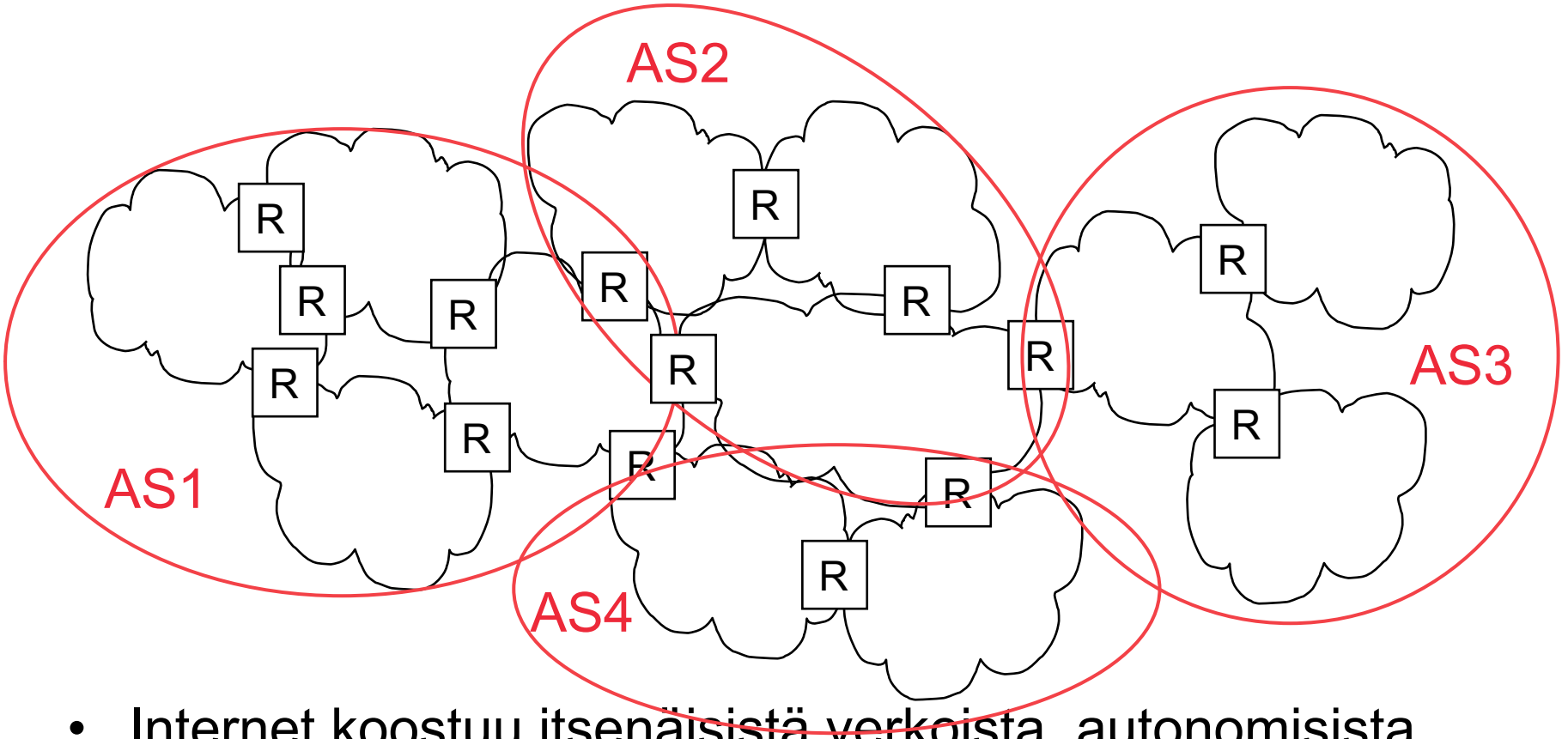
- Autonomiset järjestelmät ja kokonaiskuva
- Border Gateway Protocol (BGP)

- Monilähetysreititys
  - Internet Group Management Protocol (IGMP)
  - Monilähetyspuu
  - Monilähetysreititysprotokollat





Internetin rakenne



- Internet koostuu itsenäisistä verkoista, autonomisista järjestelmistä (autonomous systems (AS)

Autonominen järjestelmä (AS)

- AS on yhtenäistä reitityspolitiikkaa soveltava verkko
  - voi olla useamman organisaation muodostama verkko
  - verkkojen välillä käytetään BGP-protokollaa
- Jokaisella AS:llä on uniikki 32-bittinen tunniste
  - plain- (integer) ja dot-notaatio (1.10)
  - Internetissä nyt ~35000 ASää ja yli 300 000 verkkoprefiksiä
- Kolmenlaisia ASiä
  - stub-verkon kautta ei pääsyä muualle
  - transit-verkon kautta liikenne kulkee muihin verkkoihin
  - multihomed-verkolla on useampi yhteys muualle, mutta se ei välitä läpikulkuliikennettä

Miksi reitityksessä on kaksi tasoa?

- Skaalautuvuus, Internet on liian iso yhdelle reititysprotokollalle
  - Kaikki reitittimet eivät ole samassa verkossa, joten ne ei voi kommunikoida suoraan keskenään
- ASillä on omat hallinnolliset linjauksensa
  - aina ei käytetä lyhintä reittiä vaan esim. halvimman sopimuskumppanin tarjoamaa verkkoyhteyttä
- ASien välillä käytetään eri protokollia kuin sisäiseen reititykseen
  - (yleisnimi näille protokollille on exterior gateway protocol, EGP)
  - huomioi politiikan
  - nykyisin käytössä Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)

Käytännössä vielä enemmän hierarkioita

- Kaksi tapaa maksaa toisten liikenteen välittämisestä
  - Transit: maksaa rahaa pääsystä tai välityksestä
  - Peer: “vaihtaminen” eli kumpikin naapuri huolehtii toisen kauttakulkuliikenteestä ilmaiseksi
  - Julkisia pareja (jakavat fyysisen verkon) tai yksityisiä pareja (fyysinen yhteys verkkojen välillä)
- Tier-1-operaattorit muodostavat nykyisin Internetin (hajautetun) runkoverkon
  - liikenteen välitys ilmaista toisen tier-1-operaattorin liikenteelle
- Tier-2-operaattorit myyvät verkkoyhteyttä ISP:lle (ja muille suurille asiakkaille)
  - maksavat Tier-1-operaattorin verkon käytöstä
- Tier-3-operaattorit myyvät verkkoyhteyttä yrityksille ja yksityisille
  - muistattehan viime luennolta OSPF:n alueet!

Seuraavaksi
BGP-4

BGP-4 (RFC 4271)

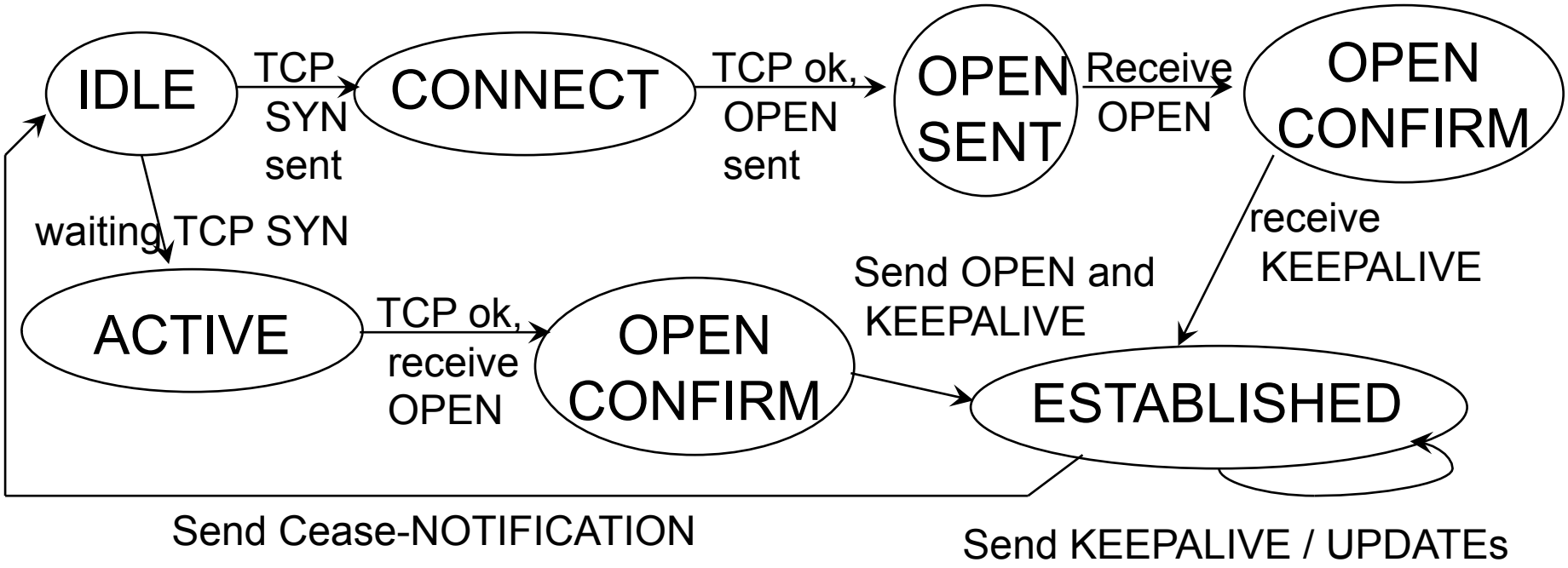
- Välittää saavutettavuustietoa, ei reittien metriikkatietoa
  - Ei ole mahdollista vertailla reittien kustannuksia keskenään, sillä se edellyttäisi sisäverkon tuntemista
  - Mainostetaan siis reittejä, joita pitäisi käyttää, ei kaikkia reittejä
  - Kuormaa voi tasata vain verkkokohtaisesti
- Käytetään polkuvektoreita, jotka kertovat kohde-ASn lisäksi myös kauttakulku-ASt
- iBGP ASn eri reunareitittimien välillä
- BGP käyttää TCPtä luotettavuuden vuoksi
  - Portti 179

BGP:n toiminnot ja viestit

- Alustus
  - osapuolten hankinta ja tunnistus
  - OPEN-viesti yhteyden avaamiseen, KEEPALIVE kuittaa
- Tiedonvaihto
  - saavutettavuustiedon välitys ja päivitys
  - UPDATE-viesti uusien kohteiden ilmoittamiseen
- Tarkistus
  - nykyisen tiedon tarkistus ja testaus
  - KEEPALIVE saavutettavuuden tarkistamiseen

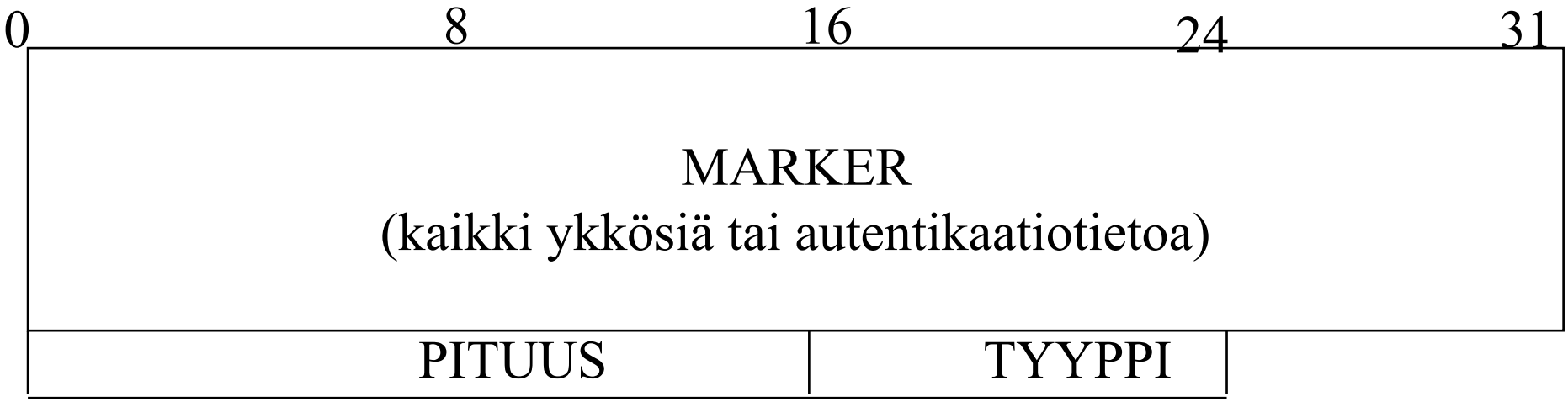
  - NOTIFICATION väärään viestiin vastaus
  - REFRESH pyyntö päivitykselle (RFC 2918)

BGP:n (yksinkertaistettu) tilakone



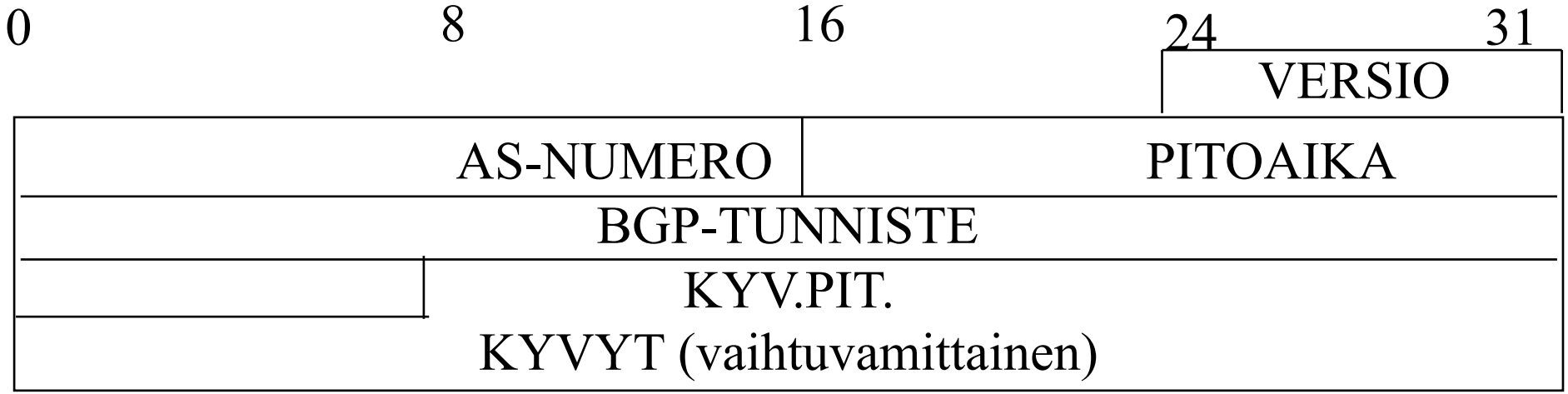
- Yhteyden avaamiseen ja ylläpitämiseen käytetään OPEN ja KEEPALIVE-viestejä
- ESTABLISHED-tilassa vaihdetaan saavutettavuustietoa käyttäen UPDATE-viestejä ja virheistä tiedotetaan NOTIFICATION-viestillä

BGP-otsikko



- MARKERia käytetään synkronointiin
  - kertoo, mistä seuraava BGP-viesti TCP-vuossa alkaa
- Viestin pituus oktetteina
- Viestin tyyppi: open, update, notification, keepalive, tai refresh

BGP Open (edellisen otsikkon lisäksi)



- BGP-yhteys avataan lähettämällä Open-viestit, joka lopuksi kuitataan Keepalive-viestillä
- Jos kahden reitittimen välille avataan samaanaikaan kummastakin suunnasta yhteys, toinen niistä suljetaan
  - korkeamman BGP-tunnisteen omaavan aloittama yhteys jää

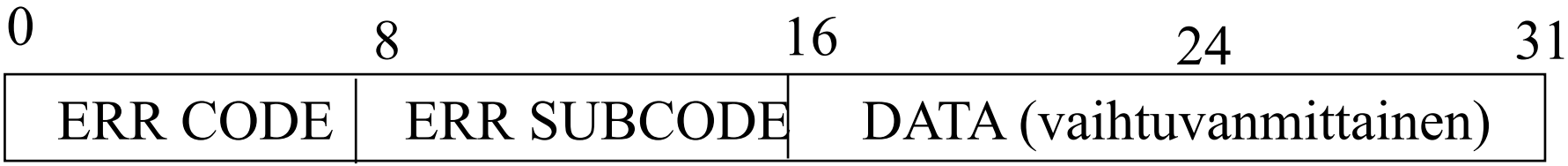
BGP Open (2)

- Versio = 4
- AS-numero, 16-bittinen tunniste
  - 32-bittiset AS-numerot välitetään optioissa
- HOLD TIME on ehdotus pitoajaksi (sekuntia)
  - kertoo kauanko yhteys on käytettävissä, jollei saa uutta keepalivea
  - käytetään pienempää omasta ja vastapuolen ehdottamasta
- BGP-tunniste: Reitittimen IPv4-osoite
- Kyvyt: lisäominaisuudet, joita BGP-reititin tukee
  - option tyyppi, option pituus, ja option arvo
  - RFC 5492: yleiskuvaus ja unsupported capability -virhekoodi
  - RFC 4893: 32-bittiset AS-numerot
  - RFC 4760: IPv6-yhteensopivuus (verkkokerrosriippumattomuus)

BGP Keepalive

- Viesti sisältää pelkän BGP-otsikon
- Viesti lähetetään viimeistään kun 1/3 pitoajasta on kulunut
  - korkeintaan sekunnin välein kuitenkin
- Tarkoitus on pitää TCP-yhteys auki
  - testaa samalla vastaanottajan olevan edelleen kunnossa
- Ei välitetä reititystietoa samalla
  - säästää verkon kapasiteettia

BGP Notification - virheistä viestiminen



- Otsikossa vikaa
  - synkronintivirhe, joku kenttä vääränmittainen tai tuntematon
- OPEN-viestissä vikaa
  - tukematon versio, väärä AS-numero tai BGP-tunniste, hyväksymätön pitoaika, tuntematon optio
- UPDATE-viestissä vikaa
  - jokin kentistä väärin muodostettu, väärä vastaanottaja (polku rikki)

BGP Notification (2)

- Pitoaika täyttynyt -viesti lähetetään, jos vastaava ajastin laukeaa
- Tilakoneessa vikaa -viesti lähetetään, jos saadaan odottamaton viesti
- Cease-lopetusviestillä suljetaan BGP-yhteys
  - normaalitilanne, ei siis virheviesti oikeasti

- Notification-viestiä ei lähetetä ilmoitusviesteistä
  - virhe raportoidaan jotenkin muuten omalle ylläpitäjälle (ei mitenkään vastapuolelle)

Seuraavaksi BGP-4 reititystaulun rakentaminen ja tietojen välitys

Aalto University
School of Science
and Technology

Sanna Suoranta, email: T-110.4100@tkk.fi
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-110.4100

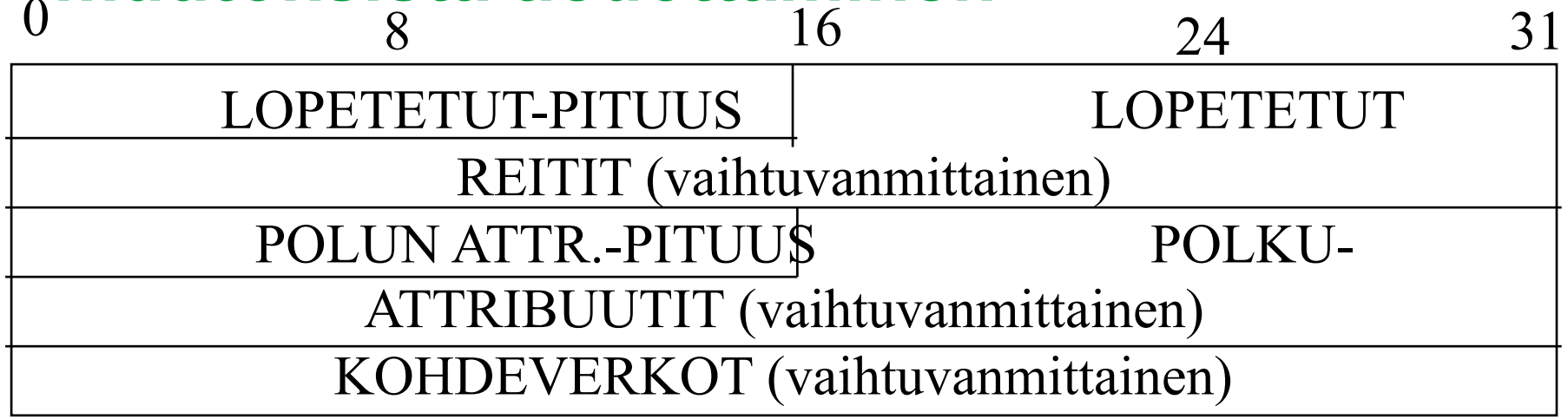
BGP:n reititystaulu (routing information base, RIB)

- Tietokantaan kerätään kolmenlaista tietoa ja se koostuu NLRI-tietueista (Network layer reachability information)
- Local Routing Information Base (Loc-RIB)
  - BGP-reitittimen tietämää paikallista reititystietoa, kerätty itse, ja
  - saatu muilta BGP-reitittimiltä, mutta valittu perustuen omaan politiikkaan
- Adj-RIBs-In
  - muiden BGP-reitittimien lähettämää tietoa
  - saatu UPDATE-viesteillä
- Adj-RIBs-Out
  - muille BGP-reitittimille lähetettyä tietoa
  - lähetetään muille UPDATE-viestillä

BGP - reitin valinta

- BGP:n päätösprosessi ei tarkkaan määrää, milloin reitti lisätään ulos mainostettaviin reitteihin ja itse käytettäviin reitteihin
  - pitää olla reitti next-hop-kentässä määrättyyn kohteeseen
  - vain yksi reitti / kohde valitaan
- Yleiset periaatteet reitin valintaan
  - lyhin AS_PATH eli pienin määrä välissä olevia Asiä
  - pienin ORIGIN attribuutti eli paikallinen tieto ensisijaisesti (paikallisista se jolla korkein paikallinen preferenssi)
  - pienin MULTI_EXIT_DISC (MED) arvo (erottaa naapurin tarjoamat entrypointit toisistaan) tai sama yhteisö (community)

BGP Update - Reiteistä ja niiden muutoksista tiedottaminen



- Lähetetään kun BGP-yhteys on avattu tai kun verkon tila muuttuu
- Viesti sisältää BGP-otsikon ja joko sekä lopetettuja reittejä että uusia reittejä tai vain jompia kumpia

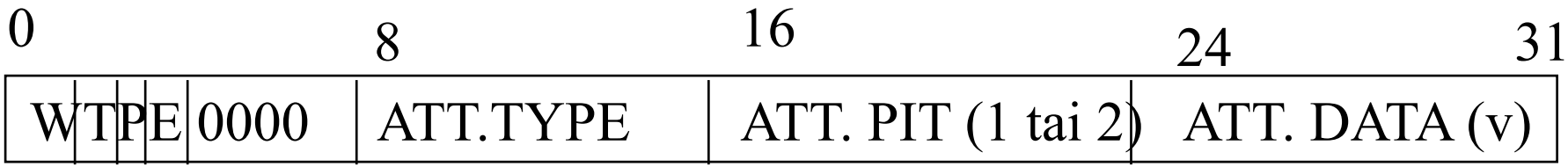
BGP Update (2)

- Lopetettujen reittien kentän pituus oktetteina
  - jos nolla, ei lopetettuja reittejä lainkaan
- Lopetetut reitit

PITUUS	PREFIX (vaihtuva)

  - lopetettujen verkkojen IP-osoitteet
  - oikeasti verkkomaskin pituus, ja verkkomaskin verran osoiteesta
- Uudet reitit: Kaikkien polun attribuuttien pituus
  - sekä polun attribuuttien että kohteiden pituus
- Uudet reitit: Kohdeverkot
  - Lista IP-osoitteiden verkko-osia, samaan tapaan kuin lopetetut
  - Kentän pituus: koko update-viestin pituus - 23 - polun attribuuttien pituus - lopetettujen reittien pituus

BGP Update - Polun attribuutit



- Käytetään UPDATE-viestissä
- Attribuutit, neljä erilaista
  - pakolliset ja harkinnanvaraiset tunnetut
  - valinnaiset transitiiviset ja ei-transitiiviset
- Bitit (optioiden käsittelyyn jne)
  - W: tunnettu (=0, well-known) tai vapaaehtoinen (=1)
  - T: transitiivinen (=1, hyväksytään ja välitetään eteenpäin) tai ei-transitiivinen (=0, ignoroidaan eikä välitetä eteenpäin)
  - P: jos valinnainen transitiivinen tieto on osittaista (=1), muuten 0
  - E: attribuutin pituus on yksi oktetti (=0) tai kaksi oktettia (=1)

BGP Polun attribuutit (2) - pakolliset tunnetut tyypit ja niiden arvot

- 1 = ORIGIN eli tiedon lähde
  - 0 = IGP, 1= EGP (RFC 904), 2= jotenkin muuten
- 2 = AS_PATH <tyyppi, pituus, arvo> tripletteinä,
  - tyyppi 1=järjestämätön ja 2= järjestetty lista Asistä
  - pituus = ASien lukumäärä
  - arvo = ASn tunniste (voi olla useita)
- 3 = NEXT_HOP = seuraavan reitittimen IP-osoite

BGP Polun attribuutit (3) - muut tyypit ja arvot

- 4 = MULTI_EXIT_DISC
  - Tunniste, jonka avulla voi erottaa vastaanottajaverkon rajapinnat toisistaan (useita rajapintoja tarjolla)
  - Valinnainen, ei-transitiivinen
- 5 = LOCAL_PREF
  - Samassa verkossa oleville tietoa ilmoitetun reitin preferenssistä
  - tunnettu

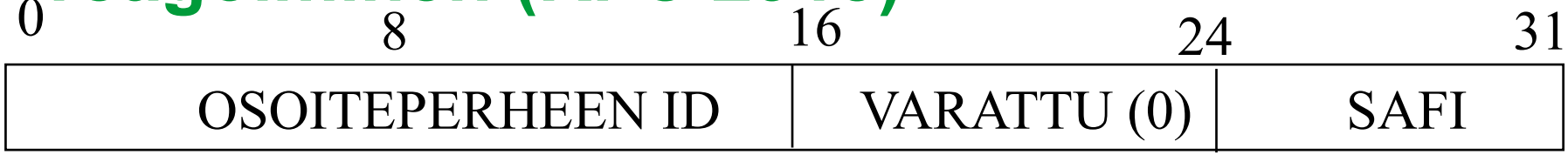
BGP Polun attribuutit (4) - Reitin koostaminen

- Useiden reittien tiedoista voidaan yhdistää (aggregate) yksi reitti
  - Reitin pitää kulkea verkoista ulos saman reitittimen kautta
- 6 = ATOMIC AGGREGATE
  - Reitin ilmoittaminen ilman kaikkia sen varrella olevia AS-numeroita
  - Tunnettu, harkinnanvarainen
- 7 = AGGREGATOR = reitin koostajan tunniste
  - AS-numero + reitittimen IP-osoite

BGP - Communities Attribute (RFC 1997 ja RFC 4360)

- Reititystiedon ryhmittelyyn, yksinkertaistaa reititystauluja
  - joukko kohteita, joilla on sama ominaisuus, muodostaa yhteisön
  - oletusryhmä: “yleinen Internet”
- RFC 1997: Yhteistö tunnistetaan 32-bittisillä luvuilla
  - ekat 16 on AS:n tunniste, sitten AS-spesifistä
  - attribuutin tyyppi = 8
- RFC 4360: kolme erilaista attribuuttia
  - IANAn määrittämä, globaali ryhmä (sis. listan jäsenistä)
  - IPv4-osoitealue
  - geneerinen määritelmä ryhmälle
  - attribuutin tyyppi = 16

BGP - Refresh - Politiikan muutokseen reagoiminen (RFC 2918)



- Kun reitityspolitiikka muuttuu, täytyy kaikkien reittien tiedot päivittää uuden reitityspolitiikan mukaiseksi
  - Ennen reititin käynnistettiin uudestaan ja pidettiin kopiot vanhasta reititystaulusta, mikä vei paljon muistia
- “Soft reset” toteutetaan Refresh-viestillä
  - molempien osapuolten pitää tukea (sovitaan yhteyden aluksi mitä tietoja tämä koskee)
  - Osoiteperheen tunniste (AFI address family identifier): IPv4=1, v6=2
  - Alitunniste (SAFI subsequent address family identifier), 1=yksilähetys, 2=monilähetys

Internal BGP (IBGP)

- Laajan AS:n reunareitittimet keskustelevat keskenään BGP:llä (IBGP)
  - Verkon pitää antaa itsestään ulos konsistentti kuva
  - Alunperin kaikkien reunareitittimien pitää olla kokoajan BGP-yhteydessä toisiinsa (full mesh)
- RFC 4456 määrittelee tavan klusteroida IBGP-reitittimiä
  - Esim joku reitittimistä voi vastata koko verkosta
  - reititystieto läheteään “tähtimäisesti” muille saman AS:n reitittimille

Seuraavaksi
BGP ja turvallisuus

Sanna Suoranta, email: T-110.4100@tkk.fi
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-110.4100

BGP ja turvallisuus

- Usein hyökkäyksen lopputulema on sama kuin väärinkonfiguroinnin
  - Man in the middle ja salakuuntelu: uudelleenohjaus jonkin hyökkääjän verkon kautta salakuuntelun vuoksi tai verkon ruuhkauttamiseksi
  - Palvelunesto: joko verkon saattaminen epästabiiliin tilaan tai jonkin kohteen liikenteen ohjaaminen väärään paikkaan mainostamalla väärää reittiä (musta aukko)
- Suojamekanismeja
  - Reititinvalmistajien ohjeet hyvistä käytännöistä
  - TTL=1, eli viestejä otetaan vastaan vain naapurireitittimeltä, sillä oikeasti vain naapuriin voi luottaa
  - TCP-session suojamekanismit
- Pari kehitteillä olevaa tapaa

PKI-pohjaiset: Secure BGP (S-BGP) ja Secure Origin BGP (soBGP)

- S-BGP:ssä kolme turvamekanismia
  - X.509-sertifikaattipohjainen PKI IP-osoitteiden ja AS-numeroiden omistajien tunnistamiseksi
  - BGP transitive path attribute UPDATE-viestien allekirjoittamiseen
  - IPsec osallistuvien reitittimien tunnistamiseen ja liikenteen suojaamiseen
- soBGP:ssa AS-reitittimet muodostava luottamusverkon (web-of-trust)
  - Tarkistetaan AS:n oikeus mainostaa verkkoa sekä polku
  - Naapuri voi “vahvistaa” omien naapuriensa luomaa tietoa
- IETF:ssä drafteina 2003 ja 2006, ei enää voimassa

Secure Inter-Domain Routing (SIDR)

- Tavoite: kehittää tapa tiedon lähteen autentikoimiseen
  - Eli että tietty verkko kuuluu sille ASlle, joka verkkoa mainostaa
  - Reunareitittimen “policy station” valvoo, että samaa politiikkaa käytetään AS:n sisällä ja kerätä lokia
  - Politiikassa määritellään mitkä verkko-prefiksit kuuluvat Asään
  - Draft määrittelee, miten verkko-prefiksejä mainostetaan ulos verkosta
  - Yhteensopiva SBGPn ja soBGPn kanssa
- Työryhmä IETF:ssä : http://datatracker.ietf.org/wg/sidr/charter/

Seuraavaksi
BGP ja IPv6

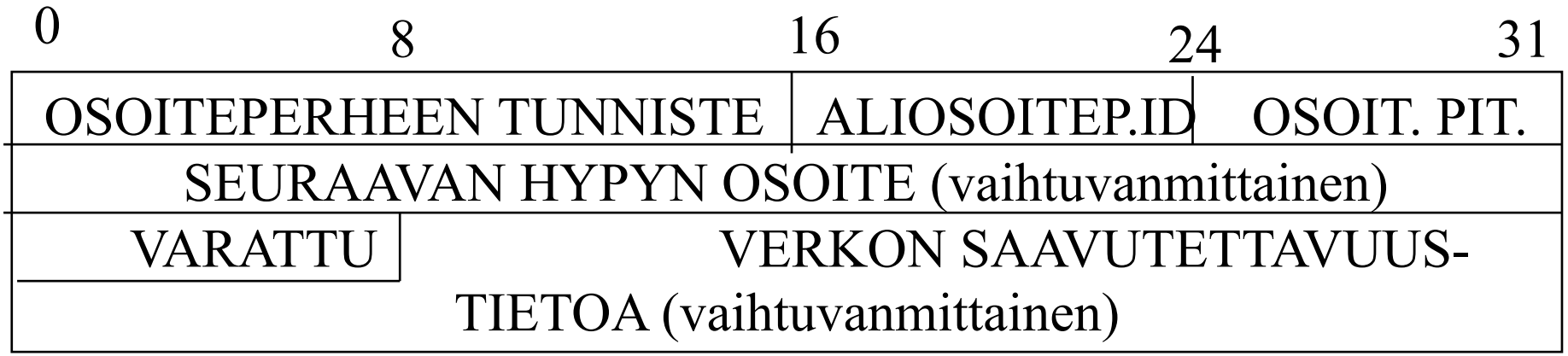
BGP ja IPv6 (RFC 4760) eli Multiprotocol Extension for BGP-4

- IPv4-osoitespesifisiä ovat BGP:ssä vain
  - Seuraava hyppy
  - Aggregator eli ID polun koostavalle reitittimelle
  - NLRI eli IPv4 osoitteen verkko-osa
- Jotta BGP toimisi jonkin toisen verkkokerroksen protokollan kanssa, kaksi asiaa pitää lisätä
  - Seuraavan hypyn osoitteeksi ko verkkokerroksen osoite
  - Mahdollisuus ilmiottaa jonkin toisen verkkokerroksen teknologian protokollasta NLRI-kentässä
- Edelleen oletetaan, että BGP-reitittimellä on IPv4-osoite

BGP ja IPv6 - uudet attribuutit

- Valinnaisia ei-transitiivisia attribuutteja
  - MP-BGP:tä osaamaton reititin ignoroi attribuutit
- Tavoitettavuus ja tavoittamattomuus -viestit eriytetty omiksi saavutettavuustietoattribuuteikseen
- Multiprotocol reachable NLRI (MP_NLRI)
  - Käytetään kertomaan uudesta reitistä
  - Myös uudesta seuraavasta hypystä, jota tulisi käyttää
- Multiprotocol unreachable NLRI
  - Poistuneiden reittien tunnisteet (samoin kuin edellä uusien reittien tunnisteet)

BGP ja IPv6 - MP reachable NLRI



- Osoiteperheen (AFI) ja aliosoiteperheen tunniste (SAFI) kuten Refresh-viestissä
  - osoiteperheen tunnistimien perusteella tiedetään osoitteen tyyppi, silti sille myös oma pituuskenttä
- Seuraavan hypyn osoite

BGP ja IPv6 - Saavutettavuustieto

- Saavutettavuustieto koodataan yhteen tai useampaan <pituus, prefix> pariin, jossa
  - Pituus kertoo prefixin pituuden
  - Prefix kentässä on osoitteen verkko-osa (+täytettä)
- Jos reititin tukee useampaa erilaista osoitetta, saavutettavuustiedossa on jokaiselle oma osio

AS:ien välinen reititys - yhteenveto

- Käytetään BGP-4-protokollaa
- Ei välitetä etäisyyksiä, vain pelkkää saavutettavuustietoa
- Reitin valintaan ei vaikuta vain sen pituus, vaan myös todelliset kustannukset ja muu politiikka

Lähteet - ASien välinen reititys

- RFC 4271 A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4), 2006
- RFC 1773 Experience with the BGP-4 protocol, 1995
- RFC 1774 BGP-4 Protocol Analysis, 1995
- RFC 4272 BGP Security Vulnerabilities Analysis, 2006
- RFC 4893 BGP Support for Four-octet AS Number Space, 2007
- RFC 5492 Capabilities Advertisement with BGP-4, 2009
- RFC 2918 Route Refresh Capability for BGP-4, 2000
- RFC 5386 Textual Representation of Autonomous System (AS) Numbers, 2008
- RFC 1997 BGP Communities Attribute, 1996
- RFC 4360 BGP Extended Communities Attribute, 2006
- RFC 4760 Multiprotocol Extension for BGP-4, 2007
- RFC 4456 BGP Route Reflection: An Alternative to Full Mesh Internal BGP (IBGP), 2006
- RFC 5065 Autonomous System Confederations for BGP, 2007
- RFC 1997 BGP Communities Attribute, 1996
- IANA Address Family Numbers: http://www.iana.org/assignments/address-family-numbers/address-family-numbers.xhtml
- S-BGP: http://www.ir.bbn.com/sbgp/
- soBGP: http://tools.ietf.org/html/draft-white-sobgp-architecture-02
- Secure Inter-Domain Routing working group http://datatracker.ietf.org/wg/sidr/charter/

Seuraavaksi monilähetys

Monilähetys

- Yhdeltä monelle -liikenne
  - verkko huolehtii viestin monistamisesta ja perillekuljettamisesta kaikille vastaanottajille
- Monilähetysryhmä kertoo kohteet
  - mukaanliittymisilmoitusten perusteella, jolloin ryhmään voi liittyä tai siitä voi poistua dynaamisesti
  - tai etukäteen määriteltyjä ryhmiä
- Edut
  - vähentää verkon liikennettä

Monilähetys Internetin laajuisesti

- Mbone toimi monilähetyksen runkoverkkona 1990-luvulla
  - kokeellinen, mm. videokonferenssien lähettämiseen
  - Runkoverkon yli yksilähetyksenä muodostettu verkko
- Nykyisin BGP-reititin voi ilmoittaa monilähetysosoitteita
  - RFC 4760 MP-BGP (eli sama kuin IPv6:lle)
- Todellisuudessa monilähetystä ei välitetä Internetin laajuisesti
  - ei ole tehokasta tapaa monilähetyspuiden reittien pääsynvalvontaan
  - verkko-operaattorien on vaikea määritellä miten laskuttaa monilähetyksestä

Monilähetyksen käyttökohteita

- Tutkimuskäyttö
  - Paljon ideoita :)
- Sovelluskäyttö
  - Paikallisessa verkossa IPTV-sovelluksen liikenteen välitys
- Verkonhallinnallinen käyttö
  - IPv6-verkoissa mm. reitittimien ja naapurien löytämiseen, sillä IPv6 ei tue yleislähetystä
  - Myös IPv4-verkossa palvelun löytämiseksi

Monilähetys IP-verkoissa

- Monilähetysosoite voi olla vain vastaanottajalla
  - pysyvät ja väliaikaiset osoitteet
  - paikalliset ja globaalit osoitteet
  - sekä IPv4- että IPv6-verkoissa
- Tapa liittyä ryhmään
  - IPv4:Internet Group Management Protocol (IGMPv3, RFC 3376)
  - IPv6:Multicast Listener Discovery (MLDv2, RFC 3810)
- Monilähetysreititys
  - Monilähetyspuun rakentaminen
  - Monilähetysreititystiedon välittäminen reitittimille

Seuraavaksi monilähetysosoitteet

Sanna Suoranta, email: T-110.4100@tkk.fi
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-110.4100

Monilähetysosoitteet

- Monilähetysosoite toimii monilähetysryhmän tunnisteena
  - Ei kerro, missä ryhmän jäsenet sijaitsevat
- Kuka tahansa voi lähettää viestin, jonka vastaanottaja on monilähetysryhmä
  - Mutta myös tapa rajoittaa ryhmäkohtaisia lähettäjiä
- Sekä pysyviä että dynaamisesti jaettavia osoitteita
  - IANA allokoi pysyvät
- Sekä vain paikalliseen verkkoon että Internetin laajuisesti välitettäviä osoitteita
  - IPv6:ssa osoitteen lisähierarkiana organisaation verkko
  - IPv4:ssä TTL tai RFC 2365:n avulla IPv6:n kaltainen

IPv4-monilähetysosoitteet

- “luokka D” tai CIRD-notaatiolla 224.0.0.0/4
  - 224.0.0.0 - 239.255.255.255
- Dynaamisesti varattavia osoitteita
  - 224.0.2.0 - 224.0.255.255, 224.3.0.0 - 224.4.255.255, ja
  - 233.252.0.0 - 233.255.255.255, jota tosin käytetään myös GLOB-blokin laajennukseen 32-bittisille AS:lle

IPv4: pysyvät monilähetysosoitteet

- Paikallisen verkon kontrollointiin: 224.0.0/24
  - ei välitetä ulos linkin verkosta
  - esim OSPF:n reitittimille 224.0.0.5
- Internetin laajuisen verkon kontrolliin: 224.0.1/24
  - voidaan välittää Internetiin
  - esim. 224.0.1.1 Network Time Protocol NTP (RFC 5905)
- Session Announcement Protocol (RFC 2974) avulla varattavat osoitteet: 224.2/16
  - Monilähetystä käyttävät monelta-monelle yhteydet (multicast multimedia conferences)
  - istuntojen perustamis- ja ylläpitoviestintää

IPv4: pysyvät monilähetysosoitteet (2)

- Source-specific multicast: 232/8, FF3x::/32 (RFC 4607)
  - kohta lisää
- GLOP-osoitteet: 233/8 (RFC 3180)
  - sisältää keskimmäisissä okteteissa AS:n numeron
  - pysyviä ryhmiä
  - AS määrittää viimeisen oktetin itse
- Hallinnollisesti rajatut osoitteet (Administratively scoped): 239/8 (RFC 2365) IPv6:n tyyliin IPv4:lle, ei globaaliin Internetiin
  - 239.255.0.0/16 IPv4 local: vain paikalliseen fyysiseen verkkoon
  - 239.192.9.9/14 IPv4 organisaation: vain saman organisaation verkkoon
  - aiemmin käytetty TTL:n avulla liikenteen leviäminen hankaloitti tehokasta monilähetysreitityspuun luontia

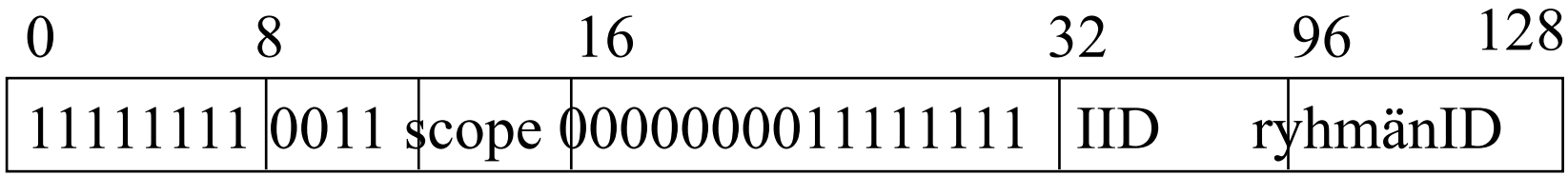
IPv6-monilähetysosoitteet (RFC 4291)

- Ryhmän ID: tunniste ryhmälle
- Scope rajoittaa viestin leviämistä verkkoon
  - 1 = paikallinen kone, 2=fyysinen verkko, 4=hallinnollisesti rajattu (useampi fyysinen), 5=paikallinen, 8 = organisaatio, E=global
- R (RFC 3956) - Rendezvous point PIM-reititykselle
- P (RFC 3306) - Unicast-osoitepohjainen monilähetysosoitteiden allokointi
- T= 0 =pysyvät ja 1= dynaamiset osoitteet

IPv6-monilähetysosoitteiden jako (RFC 3307)

- Pysyviä (IANA määrittelee, RFC 2375)
  - Node-local - esim. kaikki noodit ja kaikki reitittimet
  - Link-local - esim. DHCP ja (monilähetys)reititykseen liittyviä ryhmiä
  - Site-local - esim. DHCP ja kaikki reitittimet -ryhmät
  - vaihtuvan skoopin ryhmiä, mm. monilähetysreititykseen
- Dynaamisia
  - palvelimen allokoimia, käytetään Multicast Address Dynamic Client Allocation Protocol (MADCAP) -protokollaa (RFC 2730)
  - noodin itse allokoimia (RFC 4489) kuten seuraavassa esitetään

IPv6-monilähetysosoitteet (RFC 4489)



- IPv6 tarjoaa koneelle mahdollisuuden luoda dynaamisesti monilähetysosoitteita käyttämilleen sovelluksille
  - koska joka koneella on Interface Identifier (IID): 64-bittinen uniikki tunniste verkon rajapinnalle (IPv6-osoitteen koneosa)
- Ryhmän ID: 32-bittinen uniikki tunniste monilähetyssovellukselle

Seuraavaksi monilähetyksen lähettäminen

Monilähetys lähettäjän näkökulmasta

- IP-kerroksen luoma monilähetysosoitteeseen pakattu viesti kapseloidaan linkkikerroksen kehykseen ja lähetetään linkkikerroksen monilähetysosoitteeseen, jos se tukee monilähetystä, muuten yleislähetyksenä
  - Sekä paikallisen verkon että Internetin monilähetysosoitteeseen
- Paikallisverkossa monilähetysryhmän IP-osoite mäpätään linkkikerroksen monilähetysosoitteeksi, jota kaikki ryhmään kuuluvat kuuntelevat
- Reititin kuuntelee monilähetysryhmiä, ja välittää viestin eteenpäin perustuen reititystaulussaan olevaan tietoon
  - jos siis kyse osoitteesta, joka välitetään ulos

Monilähetys - virhetilanteiden käsittely

- IPv4-monilähetyksen virhetilanteissa ei lähetetä ICMP-virheviestejä
  - monilähetysosoitetta ei voi pingata
  - tapahtuneista virheistä ei kerrota lähettäjälle
- IPv6-monilähetyksen virhetilanteissa lähetetään ICMP-viesti
  - alkuperäiselle lähettäjälle
  - koska käytetään mm verkkoa koskevan tiedon välitykseen

Luotettava monilähetys

- Luotettava: kaikki paketit menevät perille järjestyksessä ilman virheitä
  - toteutetaan esim. TCP:ssä kuittauksilla
  - Kuittauksia tulisi ihan liikaa, jos ryhmässä paljon kuulijoita
- Negatiiviset kuittaukset
  - Kerrotaan, jos jokin odotettu paketti ei tullut perille
- Kuittaustulva silti mahdollinen
  - Kuittauksia voisi yhdistää hierarkisen reitityksen määräämissä pisteissä
- Edelleen kehitteillä IETFssä

Seuraavaksi monilähetyksen vastaanotto (paikallinen verkko)

Aalto University
School of Science
and Technology

Sanna Suoranta, email: T-110.4100@tkk.fi
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-110.4100

Tunnetut monilähetysryhmät

- Jos laite kuuluu tunnettuun monilähetysryhmään, se kuuntelee ko. ryhmän lähetyksiä ilman ryhmään liittymismenetelmääkin
  - jos linkkiverkko tukee monilähetystä, kuunnellaan ko monilähetysryhmän osoitetta vastaavaa linkkikerroksen osoitetta
  - jos linkki ei tue monilähetystä, kuunnellaan kaikkea linkkikerroksen yleislähetystä (broadcast), ja IP-kerroksella kehyksen purun jälkeen havaitut kuunneltavan monilähetysryhmän paketit käsitellään (muut hylätään)

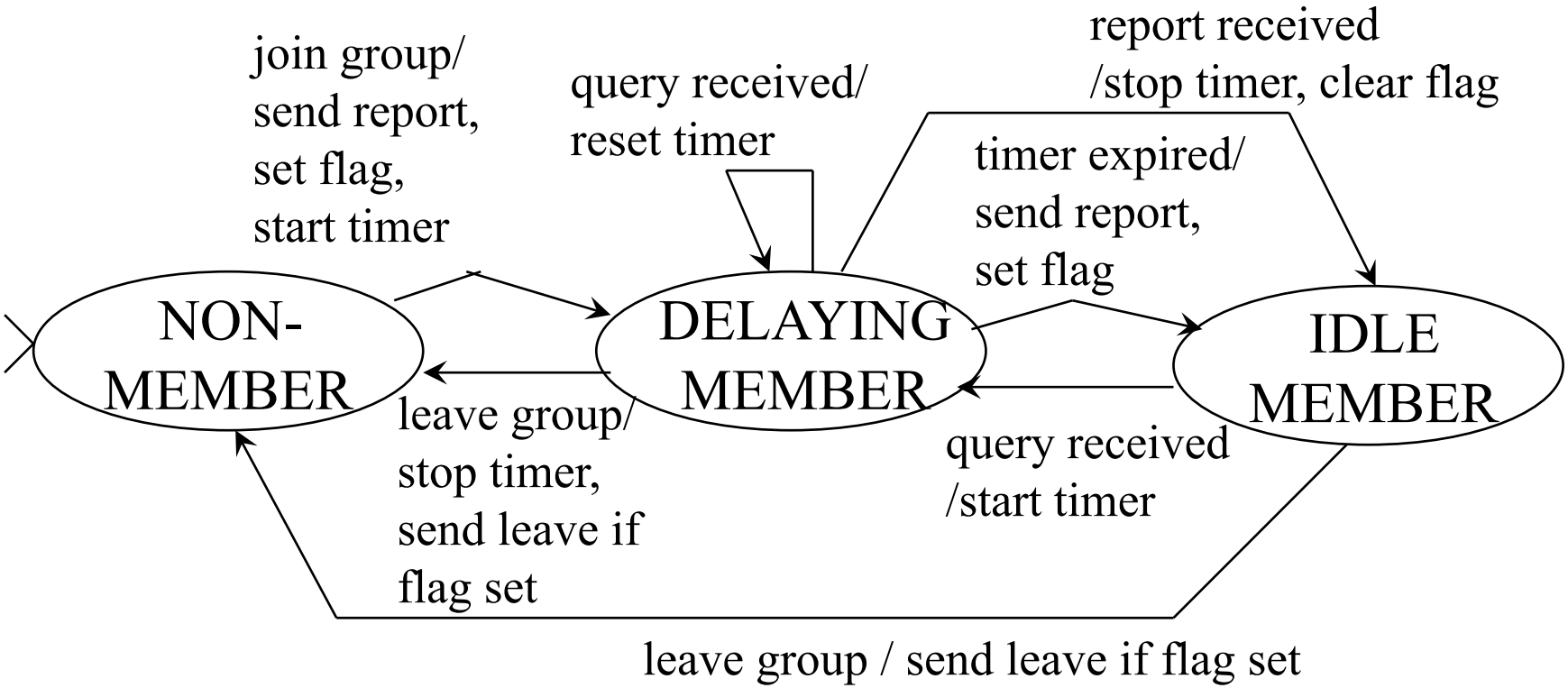
Internet Group Management Protocol IGMPv3 (RFC 3376)

- IPv4-verkossa käyttetään dynaamisiin ryhmiin liittymisissä IGMP-protokollaa
  - ICMPn kaltainen, toimii suoraan IP:n päällä
- Yksittäinen kone käyttää ryhmään liittymiseen
  - IGMP-viesti lähetetään halutun ryhmän osoitteeseen
  - Paikallinen reititin huomaa viestin ja kertoo muille reitittimille
- Reititin pitää tietoa ryhmistä, joissa on jäseniä
  - tarkistus säännöllisesti, onko reitittimen hallitsemassa verkossa yhä kuulijoita (yksikin vastaus riittää, kaikkien ei tarvi vastata)
  - jos ei ole, kerrotaan muillle reitittimille ja päivitetään reititystaulu

IGMPv3-protokolla (2)

- IGMPv3 tarjoaa lähettäjän suodatuksen
  - taaksepäin yhteensopiva sekä v1 (RFC 1112) että v2 (RFC 2236) kanssa
- Kaksi viestiä
  - QUERY: reititin kysyy onko sen verkossa ryhmän kuulijoita
  - REPORT: ryhmän jäseneltä reitittimelle raportti kuunneltavista ryhmistä
  - (IGMPv2 lisäksi myös LEAVE, v3 käyttää REPORT-viestiä)

IGMP: Isäntäkoneen yksinkertaistettu tilakone

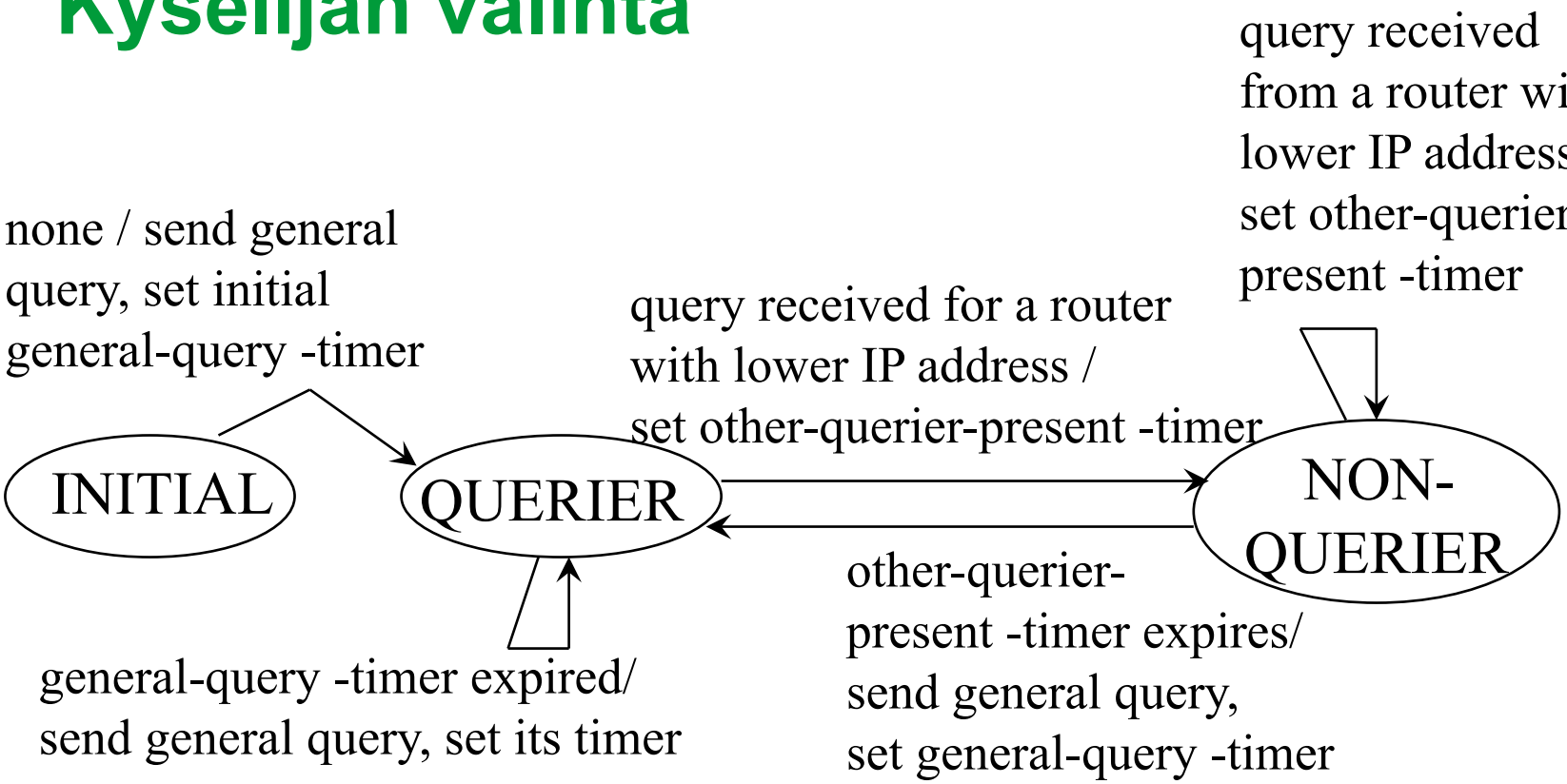


- IGMPv2 (RFC 2236), eli ei lähettäjän suodatusta (RFC 3376)

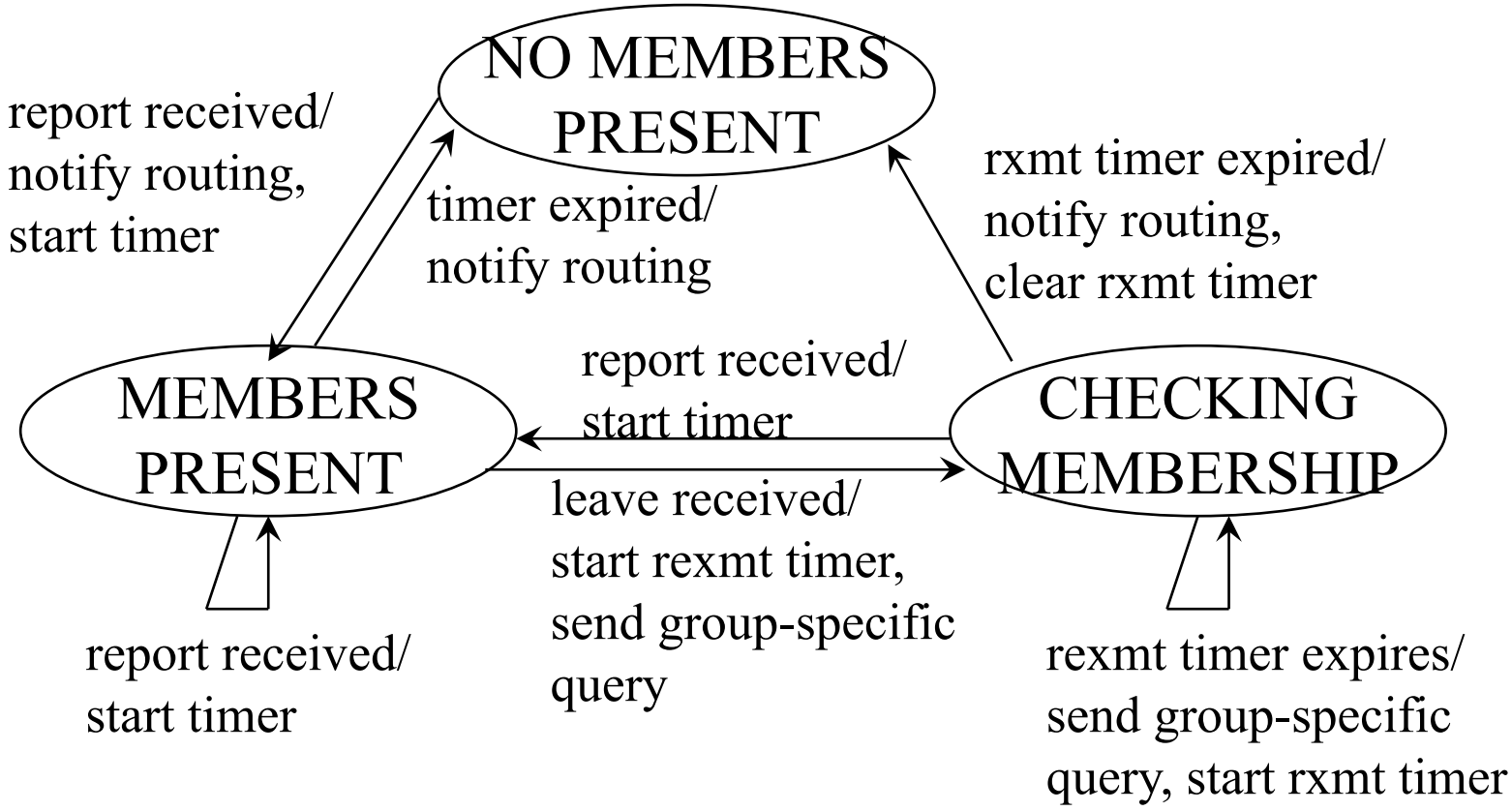
Reitittimen tehtävä ryhmien hallinnassa

- Verkossa voi olla useampi monilähetysreititin
  - Ensin valitaan pienimmän IP-osoitteen omaava reititin kyselijäksi
  - Kyselijä selvittää aina välillä, onko muita monilähetysreitittimiä verkossa
- Kyselijä selvittää
  - onko ylipäänsä missään ryhmässä kuulijoita
  - onko tietyssä ryhmässä kuulijoita
  - onko tietyssä lähettäjäspesifissä ryhmässä kuulijoita
- Pidetään kirjaa ryhmistä, joissa kuulijoita
  - “nopein” vastaa, yksi vastaus riittää (ei pidetä kirjaa tarkemmin)
  - myös ei-kyselijätilassa olevat reitittimet tallettavat tiedon

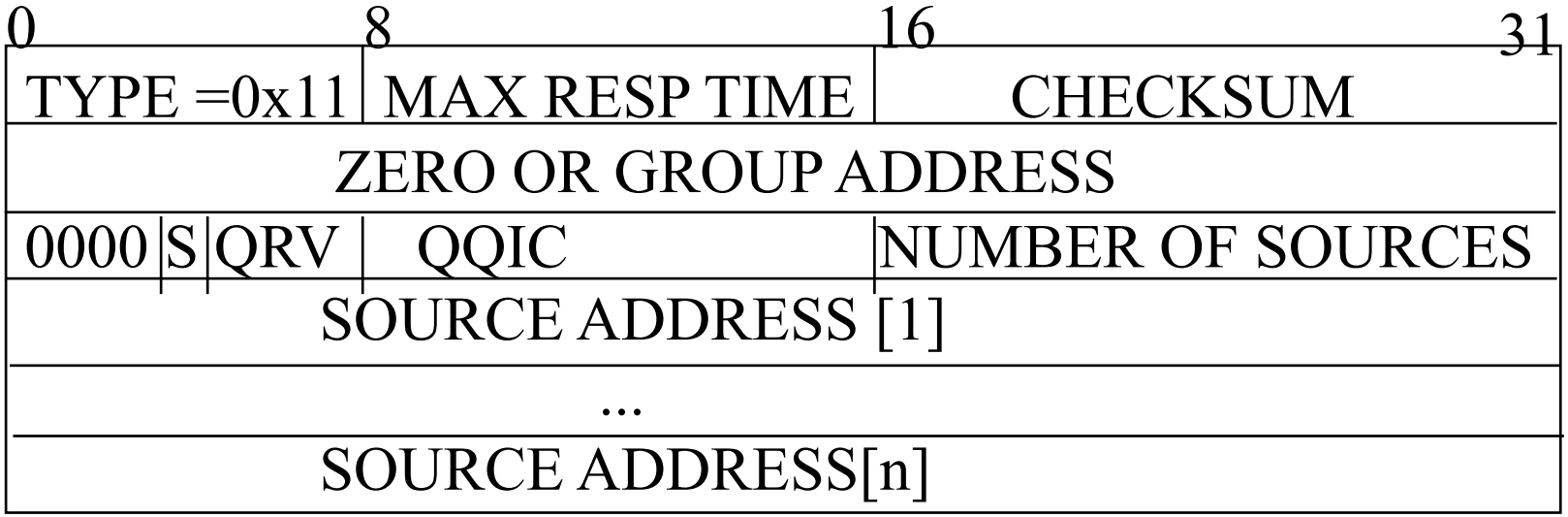
IGMP: Reitittimen tilakone (RFC 2236)
Kyselijän valinta



IGMP Kyselijä-reitittimen tilakone (RFC 2236)



IGMPv3-kysely (query, RFC 3376)

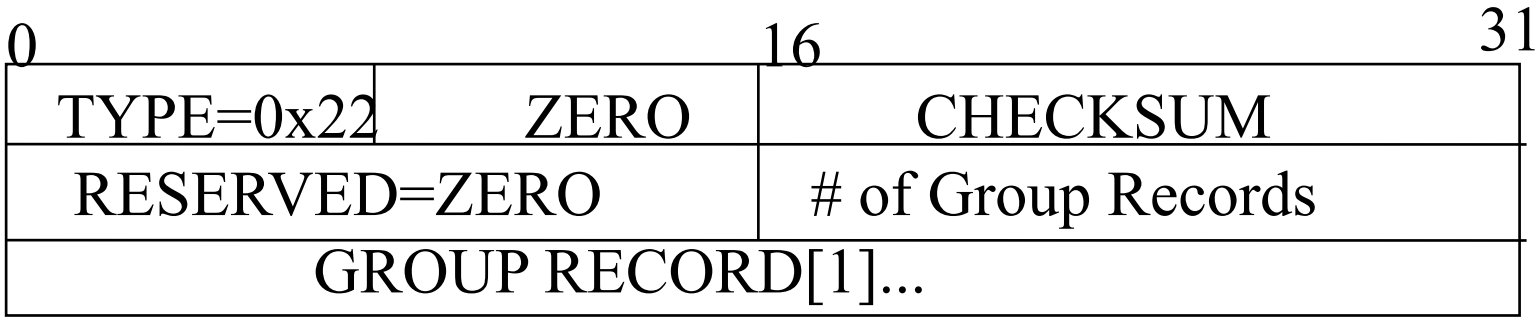


- Suoraan IPv4-otsikon sisään pakattuna
  - protokollan numero IGMP:lle on 2
  - TTL = 1, eli ei välitetä ulos verkosta
  - Yleiskysely lähetetään osoitteeseen 224.0.0.1 “kaikki”,
  - muut kyselyt ryhmän omaan monilähetysosoitteeseen

IGMPv3-kysely (2)

- Tyyppi: query
- Maksimivastausaika 0.1 s tarkkuudella (ing tai float)
- Joko tietylle ryhmälle tai kaikille, jolloin osoite nollia
- Kyselynhallintabittejä
  - S (Suppress Router-Side Processing) käytetään tavallisia arvoja ajastimille
  - QRB (Querier's Robustness Variable) reitittimelle kyselyn lähettämiseksi
  - QQIC (Querier's Query Interval Code) käytetään kyselyille ajastusta
- Lähdeosoitteiden lukumäärä
  - 0, jos yleis- tai ryhmäkohtainen kysely
  - jotain muuta, jos ryhmä+lähdekohtainen kysely
- Sallittujen lähteiden IP-(yksilähetys)osoitteet
  - Niin monta, kuin mahtuu MTUhun

IGMPv3-raportti (Membership report)



- Kohde voi kertoa kaikki kuuntelemansa monilähetysryhmät yhdellä viestillä
- Raportin otsikko kertoo lähinnä kuinka monta ryhmäraporttia viesti sisältää
  - vanhemmilla IGMP-viesteillä on omat raportointiviestinsä, joita tuetaan edelleen

IGMPv3 ryhmäraportti (Group Report)

TYPE	Aux Data Len	Number of Sources
MULTICAST ADDRESS		
Source Address [1]		
... [n]		
AUXILIARY DATA		

- Sen ryhmän monilähetysosoite, jota kuunnellaan
  - myös lähteet, jos ne on määritelty
- Tyyppi: lisätään tai ei lisätä uusia lähteitä, lähdelista on muuttunut, tai noodi filteröi /ei filtteröi lähteitä jatkossa
- Apudataa ei ole (vielä) määritelty

Multicast Listener Discovery v2 (RFC 3810)

- IGMP:tä vastaava ryhmien hallintaprotokolla IPv6:lle
  - Samaan tapaan selvitetään onko ryhmissä kuuntelijoita
  - Yksi kyselee, muut kuuntelevat ja joku niistä vastaa
  - Viestit on aika samannäköisiä, lähinnä osoitteet on pidempiä
- Samoin MLDv2 on ICMPv6:n aliprotokolla, kuten IGMP noudattaa ICMP-viestien rakennetta
  - Next-header arvo IPv6-otsikossa 58

Seuraavaksi monilähetysreititys

Monilähetysreititys

- Yksilähetyksen reititystauluja ei voi käyttää suoraan monilähetykseen, eikä yksilähetyksen reititysprotokollia voi helposti muokata monilähetysreititysprotokolliksi
  - Ryhmään liittyminen ja siitä poistuminen tapahtuu useammin kuin mitä yksilähetysreitityksen verkossa tapahtuu muutoksia
  - Lähettäjän sijainnin lisäksi vastaanottajien sijainti vaikuttaa reititykseen
  - Viestien monistuminen niiden kulkiessa eri kautta pitää ratkaista
  - Viesti saattaa kulkea sellaisen verkon läpi, jossa ei ole kuulijoita
  - Viesti saatetaan tunneloida monilähetystä osaamattoman läpi
- Yksilähetysreitityksen luomaa kuvaa verkon lyhimistä reiteistä voi käyttää apuna, mutta se ei yksin riitä monilähetyspuun luomiseen

Kaksi periaatetta lähettämiseen

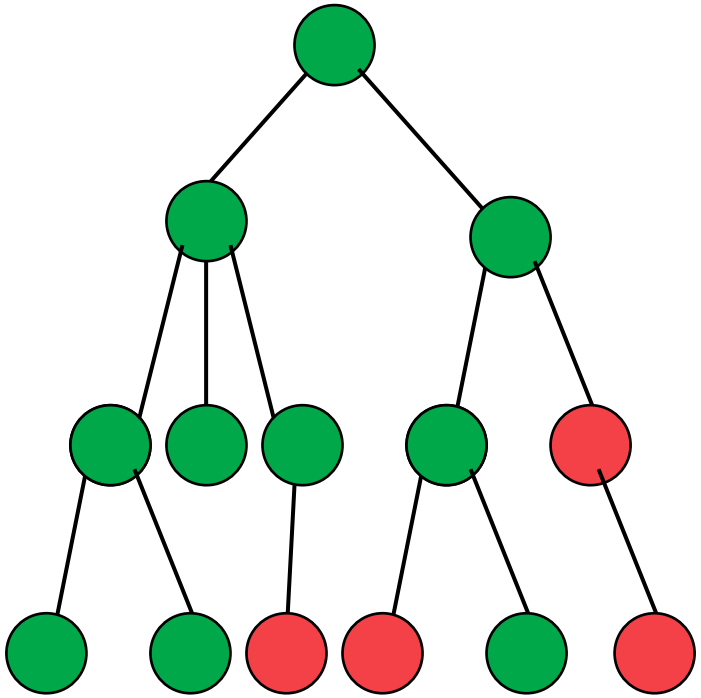
- Kuka vaan voi lähettää viestin monilähetysosoiteeseen
  - Any source multicast (ASM)
  - Alkuperäinen malli
- Vain tietty lähde voi lähettää viestin
  - Single-source multicast (SSM)
  - yksinkertaisempi, nykyisin IGMPv3:ssa tuettu malli

Yksinkertainen monilähetys: Käänteispolkureititys (Reverse Path)

- Käytetään hyväksi lähettäjän osoitetta ja yksilähetysreititystä (referse path forwarding RPF)
  - joss paketti saapui lähettäjän osoitteen osoittamasta suunnasta, lähetetään se eteenpäin kaikkialle muualle
- Typistävä versio (Truncated RPF)
  - edellinen, mutta lisäksi tarkistetaan, että
  - lähetetään paketti eteenpäin vain niihin verkkoihin, jossa on ryhmän vastaanottajia, muuten ei lähetetä
- Reverse path multicast (RPM)
  - reititysprotokolla edelliseten periaatteiden tapaan
  - IGMPllä selvitetään paikallisverkon osallistujat

Kaksi tapaa luoda monilähetyspuu

- Datalähtöinen (data-driven)
  - lähetetään kaikkialle, kunnes saadaan tieto, ettei lähetystä kukaan tarvitse tietyssä verkossa
- Tarvelähtöinen (demand-driven)
  - lähetetään vain, kun saadaan tieto, että lähetystä haluaisi joku kuunnella jossain tietyssä verkossa



Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMPR, RFC 1075)

- mrouted unixeissa
- Pohjautuu RIP-protokollaan
  - Lisäksi tietoa monilähetyksestä <ryhmä, lähde>-pareina
  - Sisäverkon reititykseen
- Data-lähtöinen
  - Määritteli omia IGMP-viestejä reitittimien ryhmäänliittymistä varten
  - IGMP-viestit ryhmästä lähtemiseen
- Puutteita
  - pitää muistaa myös vanhat reitit, jos joku liittyy takaisin
  - ei skaalaudu kovin hyvin

Core Based Trees (CBT, RFC 2189)

- Tarvelähtöinen sekä sisä- että ulkoverkon reititykseen
  - Paikallisverkossa ryhmään liitytään normaalisti IGMPllä
  - Jakaa Internetin alueisiin, joissa jokaisessa vastuureititin (core)
  - Reititin lähettää pyynnön vastuureitittimelle, mutta “lähin” matkalla oleva jo ryhmää vastaanottava reititin keskeyttää viestin ja lähettää kuittauksen takaisin, muut päivittävät reititystaulunsa kuittausviestin perusteella
  - puuta pidetään hengissä (keepalive)
- Tieto talletetaan <ryhmä, incoming interface, outgoing interface>, eli tiedetään puun juuren ja lehtien suunta
- Ulkopuolinen lähettäjä: viestit vastuureitittimen kautta
- Miten ryhmään kuuluva lähettäjä?

Protocol Independent Multicast (PIM)

- Kaksiosainen protokolla
  - Koska kumpikaan monilähetyspuun luontitavoista ei ole oikein hyvä
  - mikä vaan yksilähetysreititys alle
  - erikseen sekä kaikille (ASM) että tietyille (SSM) lähettäjille
- PIM Dense mode (RFC 3973)
  - tarkoitettu verkkoon, jossa paljon (tiheästi) kuulijoita
  - käytetään datalähtöistä tapaa
- PIM Sparse mode (RFC 4601)
  - tarkoitettu verkkoon, jossa reunoilla on paljon kuuntelijoita
  - käytetään tarvelähtöistä tapaa, CBT:n tyyliin, eli
  - valitaan yksi reitittimistä rendezvous pointiksi
- (Paljon lisää RFCtä mm autentikointiin)

Multicast OSPF (MOSPF, RFC 1584)

- OSPF:n laajennus monilähetykseen
- Käyttää tarvelähtöistä tapaa
- Verkko on jaettu alueisiin
  - reunareititn (multicast area border router) pitää huolen ryhmätiedon levittämisestä

Muuta monilähetyksen reitityksestä

- BGP:hen multiprotocol BGP myös monilähetystiedon reititykselle ASien välillä
- IETF:ssä työryhmiä kehittämässä monilähetystä
  - multicast mobility
  - multicast security
  - reliable multicast transport
  - protocol independent multicast
- Wikipediassa yli 20 erilaista monilähetysreititysprotkollaa http://en.wikipedia.org/wiki/Multicast_routing_protocol#Multicast_routing
  - Paljon on tutkittu ja ehdotettu tapoja reititykseen

Monilähetys - yhteenveto

- Tehokas tapa välittää tietoa ryhmälle vastaanottajia
- Vaatii uusia reititysprotokollia tai muutoksia vanhoihin
- Kasvattaa huomattavasti reititystaulujen kokoa
- Ei juurikaan käytössä
  - vaikea rahastaa, mukava t(/h)utkia

Lähteet - monilähetys

- RFC 5777 IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments, 2010
- RFC 2975 Session Announcement Protocol, 2000
- RFC 3180 GLOB Addressing in 233/8, 2001
- RFC 5757 Multicast Mobility in Mobile IP Version 6 (MIPv6): Problem Statement and Brief Survey, 2010
- RFC 3376 Internet Group Management Protocol v3, 2002
- RFC 4604 Using Internet Group Management Protocol Version 3 (IGMPv3) and Multicast Listener Discovery Protocol Version 2 (MLDv2) for Source-Specific Multicast, 2006
- RFC 3810 Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6, 2004
- RFC 5519 Multicast Group Membershid Discovery MIB, 2009
- RFC 4670 Source-specific multicast, 2000
- RFC 1075 Distance Vector Multicast Routing Protocol DVMRP, 1988
- RFC 4601 Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised), 2006
- RFC 5796 Authentication and Confidentiality in
- Protocol Independent Multicast Sparse Mode (PIM-SM) Link-Local Messages, 2010
- RFC 5059 Bootstrap Router (BSR) Mechanism for Protocol Independent Multicast (PIM), 2008
- RFC 2189 Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing -- Protocol Specification, 1997
- RFC 2201 Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture, 2997
- RFC 1585 MOSPF: Analysis and Experience, 1994
- RFC 1584 Multicast Extensions to OSPF, 1994

Seuraavaksi

- Miten löydetään liikkuva kone?
- Mitä tehdä, jos koneella on useampi verkkoyhteys (multihomed)
- Miten toimitaan, kun verkon muodostaa joukko samanarvoisia noodeja (ad hoc -verkko), eikä reititintä ole?