



Aalto-universitetet
Tekniska högskolan

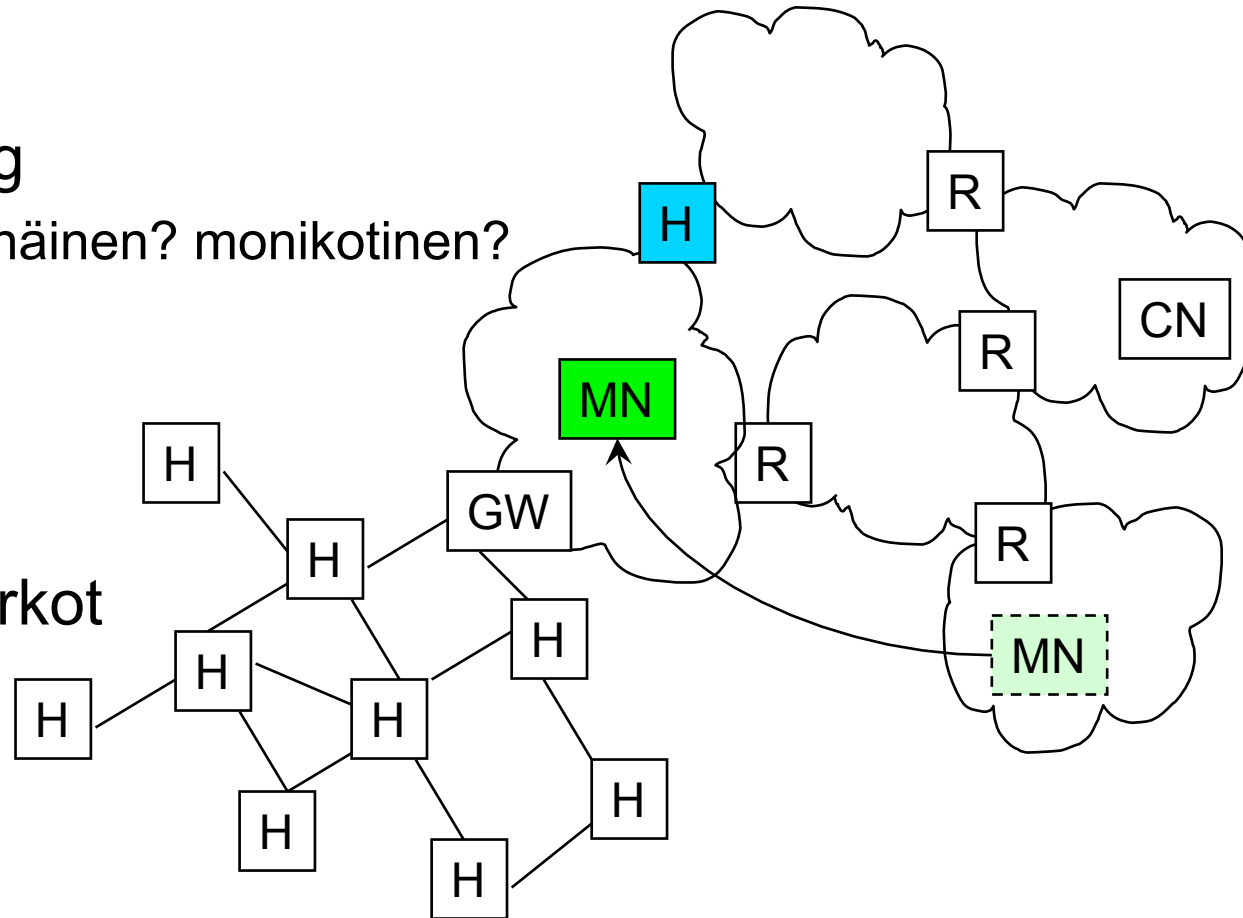
Reititys 3

Multihoming, liikkuvuudenhallinta ja muuta
vielä reitityksestä

luvut 18 ja verkkolähteet

Luennon sisältö

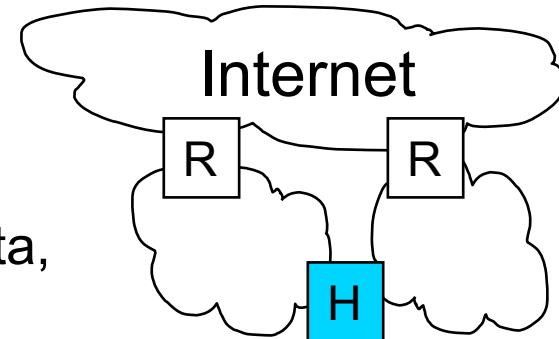
- Multihoming
 - moniliitännäinen? monikotinen?
- Mobile IP
- Ad Hoc -verkot (MANET)



Liikkuvuus ja saavutettavuus

- monikotisuus? (multihoming): tapa olla yhteydessä verkkoon useampaa eri reittiä
 - useampi yhteys verkkoon yhtä aikaa samalle “laitteelle”
 - tavoitteena luotettavuus: (tässä, 3. määritelmä tällä kurssilla ;) taatua saavutettavuutta
- Liikkuvuus (mobility): tapa vaihtaa verkkoa ja olla silti saavutettavissa
 - laitteella useampi ajan kuluessa vaihtuva yhteys verkkoon
 - Liikkua voi yksittäinen kone tai koko verkko
- Ongelmana osoitteen duaaliluonne, eli sen toimiminen sekä tunnisteena että osoitteena

Multihoming



- Lisää koneen saavutettavuuden luotettavuutta, kun sillä useampia reittejä verkkoon
 - Tarkoitetaan tässä yksittäisen koneen, esim. serverin yhteyttä,
 - ei esim. operaattoreiden tapaa kahdentaa esim. kaikki verkon reitittimet varmuuden vuoksi
- Jotta oikeasti yhteys kahdentuisi, pitää eri reittien olla
 - eri verkkojen kautta
 - ei yksittäistä muuta pistettä (esim reititin tai palomuuuri), joiden kautta reitit myöhemmin yhdistyisivät matkan varrella
- Pitää olla yhtenäinen reittiriippumaton tapa löytää palvelu
 - esim. mitä mainostetaan DNS:ssä ja miten vaihdetaan osoite virheen sattuessa

Multihoming - yksittäinen kone

- Yksi verkkokortti - useampi IP-osoite
 - jos verkkokortti hajoaa, ei oikeasti sitten toimi verkko
- Useampi verkkokortti, joista jokaisella omat IP-osoitteet
 - jos yksi korteista hajoaa, kone on yhä tavoitettavissa, mutta
 - käynnissä olleet yhteydet katkeavat, sillä istuntojen päätepisteitä ei voi esim. TCP:ssä vaihtaa (SCTP:ssä voi)
 - (multi-attached eli useampi yhteys samaan verkkoon)
- Käytössä voi olla eri verkkoteknologia
 - eli koneella voi olla sekä IPv4- että IPv6-osoite
- Palvelimen kahdentaminen/virtualisointi on jotain aivan muuta
 - Niistä kurssilla T-110.5150 Applications and services in Internet

Multihoming - aidosti useampi yhteys (IPv4-multihoming, RFC 4116)

- Aidosti useampi yhteys verkkoon eri autonomisten järjestelmien kautta
 - yksi multihomed-AS, jolla useammalta ISP:ltä yhteys muualle Internetiin
 - kun yksi verkkoyhteyksistä pettää, voidaan liikenne ohjata toisen verkkoyhteyden kautta, eli toinen yhteyksistä varalla
- Verkkoliikenteen jakaminen kulkemaan eri verkkoyhteyksien kautta (eri transit-ASien kautta)
 - BGP:ssä kohdeverkkokohtaisilla poluilla
 - kovin pieniä verkkoja ei kuitenkaan mainosteta (/24 verkko-osan pituus ainakin) yksittäin, vaan niistä koostetaan mainos (aggregate)

IPv4-multihoming - ominaisuudet

- Redundanssi - useampi yhteys mahdollista
- Kuormanjako - ulosmenevälle liikenteelle mahdollista
- Poliitikka - joskus mahdollista määritellä eri protokollille erilainen kohtelu eri reittien kautta
- Verkkokerroksen ongelmista toipuminen kuljetuskerroksella mahdollista - tosin vaatii erikseen tukea kuljetuskerroksen protokollilta
- DNS toimii kuten ennen
- Reititystaulujen kasvaminen ongelmista

IPv6-multihoming

- Useita eri tapoja ja ratkaisuja, jotka on hyvinkin erilaisia
 - osa uusia, osa mukana jo alusta alkaen, esim:
- IPv6-osoitteet, joiden verkko-osa on vaihdettavissa (network provider independent addresses)
 - erikseen sovittava reitityksestä operaattorin kanssa, mutta operaattorin vaihtaminen ei muuta osoitetta
 - osoiteavaruudesta varattu osa: 2001:678::/29
 - kuljetuskerroksen yhteydet säilyvät, sillä osoite ei ole sijaintiriippuva
- Automaattinen uudelleennumerointi, kun verkko-osa vaihtuu
 - Rikkoo kyllä olemassaolevat yhteydet



Protokollapohjaisia ratkaisuja: Shim6

Shim6 (RFC 5533)

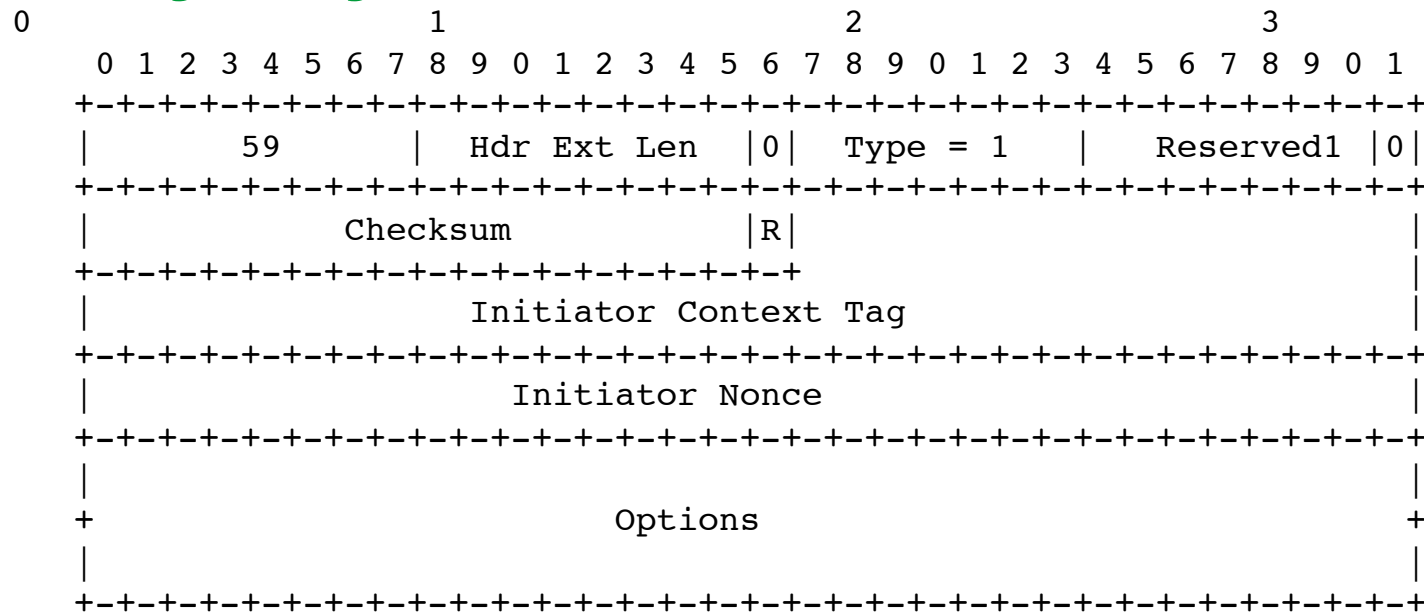
Site Multihoming by IPv6 Intermediation

- Kuormantasaukseen ja “lokaatio”-virheistä (=verkkoyhteyden katkeaminen) toipumiseen ilman käynnissäolevien yhteyksien katkeamista
 - ilman operaattorittomia osoitteita
 - Uusi lisäotsake IPv6een (next header = 140)
- Kun ihan tavallinen kuljetuskerroksen (TCP-)yhteys (=konteksti) on ollut hetken käytössä (esim 50 pakettia lähetetty), päätellään, että yhteys kannattaa suojata ja neuvotellaan Shim6-yhteys
 - jos vastaanottaja ei reagoi mitenkään, päätellään, ettei se tue menettelyä
 - jos ongelmia ei esiinny, liikenne jatkuu kuten ihan tavallisesti

Shim6 - kun yhteys katkeaa

- Sovellusyhteyden lisäksi testataan välillä naapurin saavutettavuutta
 - eli että IP-osoite (paikan tunniste) on yhä sama
- Jos havaitaan katkos, selvitetään uusi osoite ja
 - tai jos halutaan käyttää toista osoitetta
- Pakataan paketit IP-in-IP-tunneliin, eli “alkuperäisen” paketin eteen lisätään Shim6-lisäotsake ja uusi IP-otsikko
 - Alkuperäinen IP-osoite -> upper-layer identifier (ULID)
 - yhteydet tunnistetaan kummassakin päässä tripleteilla
<peer ULID, local ULID, local Context Tag>
 - mahdollista yhdistää useampi yhteys samaan kontekstiin
 - lisäotsikko sijoitetaan reititys- ja lohkomisotsikoiden väliin

Shim6-yhteyden avaus



- Ensimmäisessä viestiparissa kerrotaan vastaanottajalle kontekstin tunniste (tag) ja nonssi tuoreuden takaamiseksi
 - Optioissa ULID-pari, jos toivutaan virheistä (IP-osoite vaihtunut)
 - Vastausviestissä lähettäjän ja vastaanottajan luomat nonssit

Shim6-yhteyden avaus (2)

- 3. viestissä taas nonssit
 - nyt molemmat osapuolet voivat vakuuttua tuoreudesta
- Lista osoitteista ja mahdollisesti niiden preferenssijärjestys
- Allekirjoitus
- 4. viestissä alkuperäisen lähettäjän nonssi, ja samoin lista osoitteista ja mahdollisesti niiden järjestys sekä allekirjoitus
- jos pyydetään vaihtamaan osoitetta yhteydelle, jota ei ole, voidaan käyttää nopeutettua yhteydenmuodostusta

Shim6 - muut viestit

- Update-viestillä päivitetään osoitelista
 - viesti kuitataan sen sisältämällä nonssilla
- Keepalive-viesti pitää auki oikeastaan yksisuuntaisia yhteyksiä myös toiseen suuntaan
- Probe-viestiä käytetään, kun yhteydellä toimii eri osoitteet eri suuntiin
- Virheviesti kertomaan ongelmatilanteista

Shim6 yhteenveto

- Shim6 luo kontrollikanavan datakanavan rinnalle
 - mekanismit huomata IP-osoitteiden muutokset
 - normaalitilanteessa liikenne kulkee ihan kuten ennenkin
 - IP-osoitteen muututtua tunneloidaan IP-kerroksen liikenne uuteen osoitteeseen
 - Shim6 vaatii muutoksia kummankin osapuolen IP-pakettien lähetykseen
 - Ei vaadi verkolta lisälaitteita tai toiminnallisuuksia
 - Ei vaadi muutoksia kuljetuskerrokseen (TCP) tai sovelluksiin
 - Vanha osoite pysyy tunnisteena, uusi osoite on vain paikka
 - Toimii IPsecin kanssa
-



Toinen protokolla/ arkkitehtuuri- ratkaisu: HIP

HIP (RFC 4423 et co)

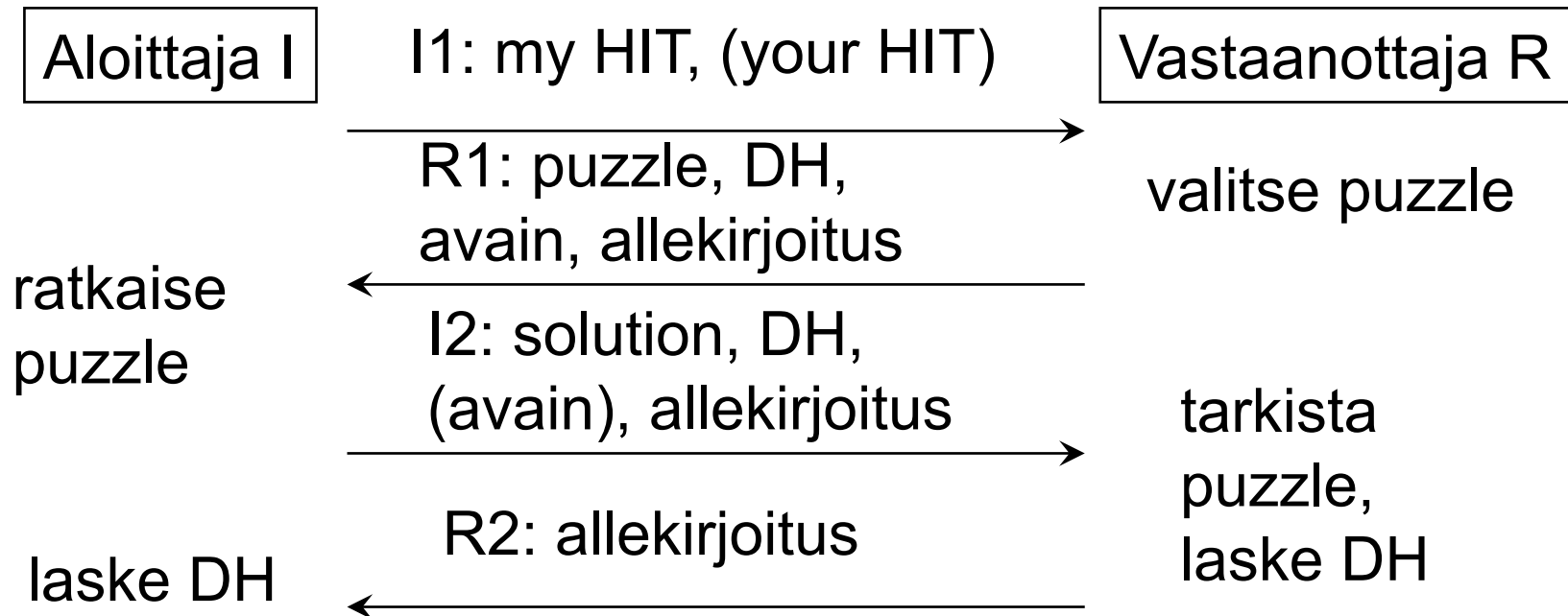
Host Identity Protocol

- HIP tuo uuden kerroksen verkko- ja kuljetuskerrosten väliin eli IP:n ja TCP/UDP:n väliin
- IP-osoitetta käytetään pelkkänä osoitteena, sen tunnisteosan korvaa Host Identity (HI)
 - ylemmän kerroksen protokollissa IP-osoite korvataan HI:llä, eli TCP-yhteyden päätepisteenä <HI, portti>-pari
- HI on julkinen avain
 - siitä lasketaan 128-bittinen tiiviste, jota kutsutaan HIT:ksi
 - kone voi generoida itse avaimen, tai
 - avain voi olla jonkin varmennepalvelun (CA) sertifioima

HI-tunnisteiden käsittely

- IP-osoite voi vaihtua, kun ylemmän kerroksen protokolla käyttää tunnisteena HI:tä
 - olemassaolevat yhteydet säilyvät (multihoming)
 - jopa allaolevan IP:n versio voi vaihtua, tarvitaan vain mekanismi sitoa osoite HI:hin
- Uuden yhteyden avaus tapahtuu rendezvous-mekanismin avulla
 - myös jos molemmat osapuolet vaihtavat paikkaa samanaikaisesti
- HI-tunnisteet tallennetaan joko DNSään tai DHTeen
 - hajautettu tiivistetaulu DHT (Digital Hash Table) on tapa tallettaa tieto hajautetusti useammalle palvelimelle, joista jokaisella osittainen tieto ja tapa ohjata kyselijä eteenpäin

HIP-basic exchange



- Aloitusviesti voi kulkea rendezvous-palvelimen kautta
- Puzzle: DoS-hyökkäysten torjumiseksi
- DH = Diffie-Hellman-avaintenvaihto

HIP ja turvallisuus

- Kryptografisten avainten käytöstä tunnisteena saa sivutuotteena paremman turvallisuuden
 - voidaan käyttää suoraan IPsec ESP-suojaukseen, koska avaimet on jo valmiiksi tarjolla
 - voidaan laskea istunnolle symmetrinen avain turvallisesti
- Suoja palvelunestohyökkäyksiä vastaan
 - voidaan vaatia yhteyden avaajaa ratkaisemaan tehtävä (puzzle) ennen kuin yhteys oikeasti avataan
 - asiakas osoittaa käyttämällä omaa laskentatehoaan oikeasti haluavan yhteyden
 - hyökkääjän ei kannata hyökätä, koska laskentatehoa kuluu

HIP yhteenveto

- Multihoming, liikkuvuus, IPv4-v6-yhteentoiminta ja turvallisuus yhdessä paketissa
 - uusi tunniste HI, IP-osoite ilmaisee vain sijainnin
 - uusi kerros IP:n ja kuljetuskerroksen väliin
- Tarvitsee todella paljon muutoksia
 - koneiden TCP/IP-pinot (käyttöjärjestelmä)
 - DNS, NAT, jne

Multihoming - yhteenveto

- Useampi eri yhteys verkkoon tuo luotettavuutta saavutettavuudelle
- Aiheuttaa ongelmia olemassaoleville protokollille
 - osoitteiden vaihtumisen vuoksi
- Monet ratkaisut lähinnä tutkijoiden puuhastelua eivätkä käytössä operaattoreiden verkoissa
 - ei ainakaan vielä :)
- Ratkaisuja kehitteillä myös ylemmillä kerroksilla
 - SCTP (Stream Control Transmission Protocol, RFC 4960,3286)
-yhteydellä päätepisteellä voi olla useampi IP-osoite

Lähteet - multihoming

- RFC 4116 IPv4 multihoming practices and limitations, 2005
- Site Multihoming by IPv6 Intermediation (shim6) WG: <http://datatracker.ietf.org/wg/shim6/charter/>
- RFC 3582 Goals for IPv6 site-multihoming architectures, 2003
- RFC 3178 IPv6 multihoming support at site exit routers, 2001
- RFC 4219 Things multihoming in IPv6 (MULTI6) Developers should think about, 2005
- RFC 4218 Threats relating to IPv6 multihoming solutions, 2005
- RFC 5533 Shim6: Level 3 Multihoming Shim Protocol for IPv6, 2009
- RFC 5534 Failure Detection and Locator Pair Exploration Protocol for IPv6 Multihoming, 2009
- RFC 5535 Hash-Based Addresses (HBA), 2009
- RFC 4423 - Host Identity Protocol (HIP) Architecture, 2006
- RFC 5201 - Host Identity Protocol, 2008
- RFC 5202 - Using the Encapsulating Security Payload (ESP) Transport Format with the Host Identity Protocol (HIP), 2008
- RFC 5203 - Host Identity Protocol (HIP) Registration Extension, 2008
- RFC 5204 - Host Identity Protocol (HIP) Rendezvous Extension, 2008
- RFC 5205 - Host Identity Protocol (HIP) Domain Name System (DNS) Extension, 2008
- RFC 5206 - End-Host Mobility and Multihoming with the Host Identity Protocol, 2008
- RFC 5207 - NAT and Firewall Traversal Issues of Host Identity Protocol (HIP) Communication, 2008



Näistä lisää kurssilla T-110.5111 Tietokoneverkot II

Seuraavaksi liikkuvuus (mobility)



Näistäkin lisää kurssilla
T-110.5111 Tietokoneverkot II :-)

Liikkuvuudenhallinta

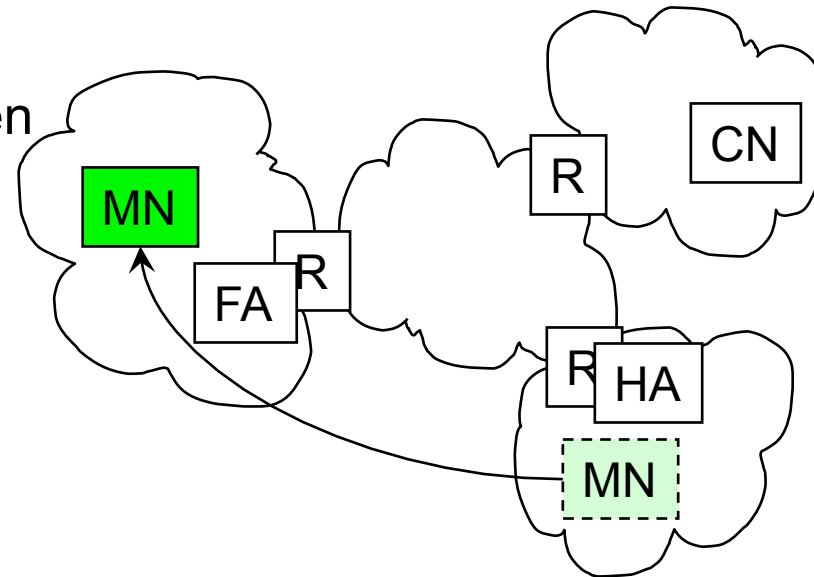
- Liikkuvuudenhallinnan tavoitteena on säilyttää yhteys verkkoon siten, että sovellusten yhteydet eivät katkea, vaikka verkkoyhteyden päätepiste muuttuu
 - yksi yhteys kerrallaan (ei varayhteyttä, kuten edellä)

Kahdenlaista liikkuvuutta:

- Mikromobility: paljon nopeita siirtymiä verkosta toiseen lyhyellä aikavälillä
- Makromobility: liikutaan verkosta toiseen, mutta uudessa verkossa pysytään kauemmin
 - Mobile IP on ratkaisu tähän

Mobile IP

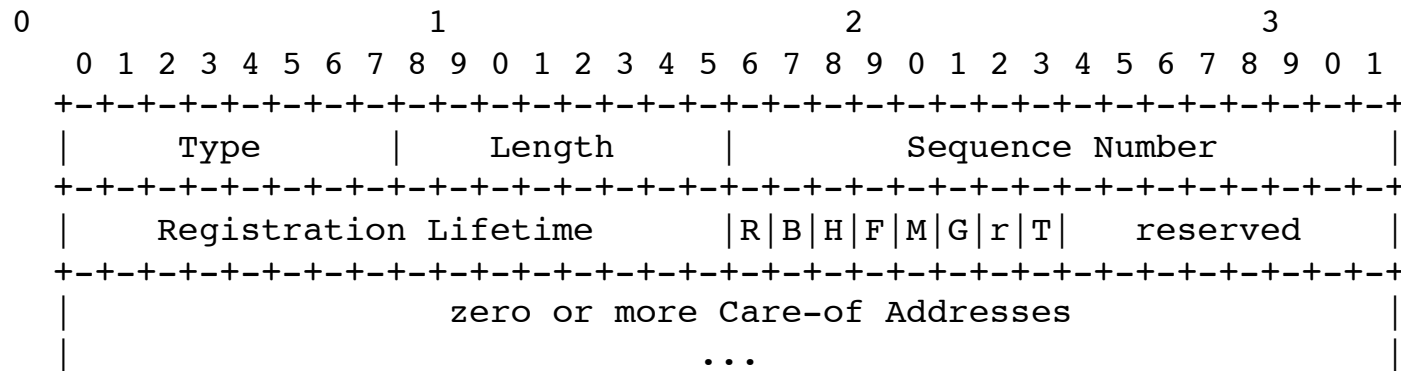
- Jokaisella koneella on kotiverkko ja siellä IP-osoite
- Kone voi kuitenkin liikkua toiseen verkkoon siten, että
 - se on edelleen tavoitettavissa kotiosoitteensa kautta
 - yhteydet säilyvät
- Liikenne tunneloidaan koneen senhetkiseen osoitteeseen
- Kaksi versiota: Mobile IPv4 ja Mobile IPv6



Mobile IP - osoitteet

- Kotiosoite (home address) on pysyvä osoite, josta liikkuvan koneen (mobile node, MN) tavoittaa aina
 - koneen ollessa kotiverkossa se käyttää osoitettaan kuten tavallinen liikkumaton kone (ensisijainen osoite)
 - koneen ollessa muualla, kotiagentti (home agent, HA) vastaanottaa viestin ja lähettää sen edelleen (tunneloi) koneen nykyiseen sijaintiin
- Vierailuosoite (care-of address)
 - Vierailuverkon normaalilla osoitteenjakotavalla saatu osoite (co-located care-of address), eli liikkunut kone huolehtii itse tunneloinnista (vierailuverkon ei tarvi tietää asiasta mitään)
 - Vierailuverkossa voi olla myös vierailuagentti (foreign agent, FA), joka huolehtii tunnelista liikkuneen koneen puolesta (foreign agent care-of address), ja voi jopa kätkeä kaikki NATin yhden osoitteen taa

Mobile IPv4 - Verkon vaihtaminen



- Kone huomaa verkon vaihtuneen agentin etsintämenettelyssä (agent discovery)
 - Laajennus ICMP:n reitittimenlöytämism viestin laajennus, eli mobiiliagentin ilmoitusviesti (Mobile Agent Advertisement Extension)
 - lisätään reitittimenlöytämism viestin viestin perään ilman erillisiä otsikoita

Mobile IPv4 - Uuden sijainnin ilmoitus

- Kun kone on saanut vierailuverkosta osoitteen, se ilmoitetaan kotiagentille
 - joko kone hoitaa rekisteröinnin itse suoraan kotiagentin kanssa (co-located care-of address)
 - tai vierailuagentti hoitaa koneen puolesta (fa-co-address), jolloin pyyntö lähetään vierailuagentille
- Vierailuosoite on voimassa viestissä ilmoitetun ajan
 - kun kone palaa kotiverkkoon, ajaksi ilmoitetaan nolla
- Koti- ja/tai vierailuagentti lähettää kuittauksen, jolloin luodaan tunneli kotiverkosta koneelle (mahdollisesti vierailuagenin kautta)

Mobile IPv4 - Viestin lähetys ja vastaanotto

- Viesti joko lähetetään suoraan
 - lähettäjäosoitteena käytetään kotiosoitetta
- tai viesti tunneloidaan vierasagentilta kotiagentille, joka lähettää sen edelleen vastaanottajalle
 - vierailuverkon palomuuuri saattaa muuten hylätä viestin (ingress filtering)
- Vastaanottajan (correspondent node, CN) ei tarvitse tietää mitään Mobile IP:stä
 - paluuviestit kiertävät aina kotiagentin kautta
- Kolmioreititys tai kaksinkertaisen reitin ongelma
 - erittäin tehotonta, jos viestitään vierailuverkon laitteen kanssa

Mobile IPv6 - Parannuksia v4-versioon

- Erillistä vierasagenttia ei tarvita lainkaan
 - vierasverkon reitin kertoo osoitteidenhankkimistavan, jota käytetään (kuten tavallisestikin)
- Tuki reitinoptimoinnille
 - ratkaisee kolmireitityksen luoman ongelman
- Kevyempi tunnelointimenetelmä
 - Käyttää IPv6:n reitityslisäotsikkoa

Mobile IPv6 - Binding Update (BU)

- Liikkuva kone lähettää sijainnin päivityksen kotiagentin lisäksi myös koneelle, jonka kanssa se on viestimässä (correspondent node)
 - Kotiagentin kanssa yhteys suojataan IPsec ESP:llä
- Vastaanottaja tarkistaa BU:n todenperäisyyden return routability-prosedurin avulla
 - testiviestit lähetetään samanaikaisesti sekä koti- että vierailuosoitteisiin
 - vastauksessa liikkuva kone todistaa saamansa kummatkin ja pystyvänsä viestimään molempia reittejä käyttäen myös takaisin

Mobile IP - yhteenveto

- Kone voi vaihtaa verkkoa ilman, että sovellusten yhteydet katkeavat
- Käytetään koti- ja vierailuosoitteita
- Vaatii ainakin kotiverkkoon kotiagentin (reititin) sekä muutoksia ARP-protokollaan

Mobile IP - lähteet

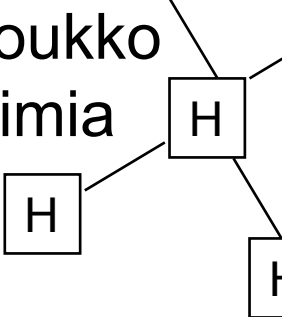
- RFC 3344 IP Mobility Support for IPv4, 2002
- RFC 4721 Mobile IPv4 Challenge/Response Extensions (Revised), 2007
- RFC 3775 Mobility Support in IPv6, 2004

Seuraavaksi hieman Ad Hoc -verkoista



```

graph TD
    Cloud((Cloud)) --- GW[GW]
    GW --- H1[H]
    H1 --- H2[H]
    H2 --- O[O]
    H2 --- H3[H]
    H3 --- H4[H]
    H4 --- H5[H]
    H5 --- H6[H]
    H6 --- H7[H]
    H7 --- H8[H]
    H8 --- H9[H]
    H9 --- H10[H]
    H10 --- H11[H]
    H11 --- H12[H]
    H12 --- H13[H]
    H13 --- H14[H]
    H14 --- H15[H]
    H15 --- H16[H]
    H16 --- H17[H]
    H17 --- H18[H]
    H18 --- H19[H]
    H19 --- H20[H]
    H20 --- H21[H]
    H21 --- H22[H]
    H22 --- H23[H]
    H23 --- H24[H]
    H24 --- H25[H]
    H25 --- H26[H]
    H26 --- H27[H]
    H27 --- H28[H]
    H28 --- H29[H]
    H29 --- H30[H]
    H30 --- H31[H]
    H31 --- H32[H]
    H32 --- H33[H]
    H33 --- H34[H]
    H34 --- H35[H]
    H35 --- H36[H]
    H36 --- H37[H]
    H37 --- H38[H]
    H38 --- H39[H]
    H39 --- H40[H]
    H40 --- H41[H]
    H41 --- H42[H]
    H42 --- H43[H]
    H43 --- H44[H]
    H44 --- H45[H]
    H45 --- H46[H]
    H46 --- H47[H]
    H47 --- H48[H]
    H48 --- H49[H]
    H49 --- H50[H]
    H50 --- H51[H]
    H51 --- H52[H]
    H52 --- H53[H]
    H53 --- H54[H]
    H54 --- H55[H]
    H55 --- H56[H]
    H56 --- H57[H]
    H57 --- H58[H]
    H58 --- H59[H]
    H59 --- H60[H]
    H60 --- H61[H]
    H61 --- H62[H]
    H62 --- H63[H]
    H63 --- H64[H]
    H64 --- H65[H]
    H65 --- H66[H]
    H66 --- H67[H]
    H67 --- H68[H]
    H68 --- H69[H]
    H69 --- H70[H]
    H70 --- H71[H]
    H71 --- H72[H]
    H72 --- H73[H]
    H73 --- H74[H]
    H74 --- H75[H]
    H75 --- H76[H]
    H76 --- H77[H]
    H77 --- H78[H]
    H78 --- H79[H]
    H79 --- H80[H]
    H80 --- H81[H]
    H81 --- H82[H]
    H82 --- H83[H]
    H83 --- H84[H]
    H84 --- H85[H]
    H85 --- H86[H]
    H86 --- H87[H]
    H87 --- H88[H]
    H88 --- H89[H]
    H89 --- H90[H]
    H90 --- H91[H]
    H91 --- H92[H]
    H92 --- H93[H]
    H93 --- H94[H]
    H94 --- H95[H]
    H95 --- H96[H]
    H96 --- H97[H]
    H97 --- H98[H]
    H98 --- H99[H]
    H99 --- H100[H]
    
```

- MANET on infrastruktuuriton verkko, jonka joukko langattomia laitteita muodostaa ilman palvelimia keskenään
 - laitteet voivat tarjota toisilleen palveluita
 - laitteet voivat olla yhteydessä toisiinsa toistensa kautta
 - Verkon linkit muuttuvat taajaan, sillä jokainen laite voi liikkua itsenäisesti
 - MANET voi olla yhteydessä Internetiin yhdyskäytävän (gateway) avulla
 - palveluita voi etsiä esim SLP-protokollan avulla
 - jokin laitteista voi siis tarjota palveluna yhteyttään Internetiin
- 
- ```
graph TD; H1[H] --- H2[H]; H1 --- H3[H]; H2 --- H3;
```

# MANET - Reititys

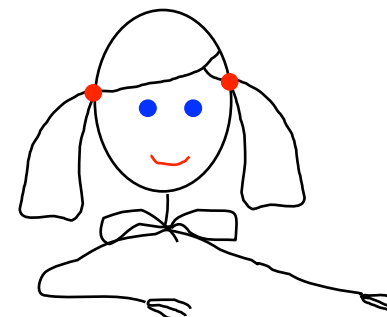
- Jos laitteet eivät ole yhteydessä suoraan toisiinsa, tarvitaan reititystä
- Proaktiivinen (tauluohjattu; proactive, table-driven)
  - laitteet selvittävät verkon yhteydet etukäteen
  - kun yhteyttä tarvitaan, se on nopeasti käytettävissä
  - OLSR, TBRPF ja monta muuta ehdotusta
- Reaktiivinen (tarveohjattu; reactive, on-demand)
  - laite selvittää reitin toiseen vasta kun yhteyttä siihen tarvitaan
  - ei turhaa työtä, mutta yhteyden avaus kestää kauemmin
  - AODV, DSR ja monta muuta ehdotusta

# MANET - Lähteet

- RFC 2608 Service Location Protocol, Version 2, 1999
  - RFC 2501 Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations, 1999
  - RFC 3561 Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, 2003
  - RFC 3626 Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), 2003
  - RFC 3684 Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF), 2004
  - RFC 4728 The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4, 2007
  - RFC 5444 Generalized Mobile Ad Hoc Network (MANET) Packet/Message Format, 2009
  - IETF:n MANET-työryhmä <http://datatracker.ietf.org/wg/manet/charter/>
-

# Seuraavaksi vierailijoiden pitämiä luentoja!

- TkT Matti Siekkinen kertoo torstaina **kuljetuskerroksesta**
- Ensi tiistaina DI Bengt Sahlin kertoo **nimipalvelusta**
  - sitten kaikki 1. osatentin asiat on käyty läpi



DNS

TCP

UDP

IP

linkkikerros

fyysinen kerros