

Langattomat lähiverkot:

Ad hoc -pohjaista kone-kommunikaatiota



Self organizing wireless networks

Bluetooth and WLAN are making their way into many kinds of appliances. By introducing the ability to automatically build ad hoc-networks and route traffic we can expect the communication between machines to start evolving quite rapidly. The vision of being able to surf on the net almost in every part of the urban environment is not far away. On the other hand, collecting data from difficult locations where cabling is not possible can be done by using ad hoc based radio communications.

The challenges in ad hoc routing are quite different from routing in traditional networks with existing infrastructure. Ad hoc routing has to take into account the limited bandwidth, limited computation power, power consumption and the need for security. Therefore the ad hoc routing protocols have to be designed with as small signaling overhead as possible.

IETF has a workgroup called MANet, which is focused on ad hoc networking issues. The workgroup has several routing protocols in "in progress" state.

When implementing the protocols one has to consider the radio technology used. Bluetooth and WLAN both have their advantages and disadvantages and these affect very heavily on the selection and implementation method of the used routing protocol.

The research project: Self Organizing Wireless Ad Hoc Networks is a part of the National Technology Agency of Finland (TEKES) NETS technology program and the contact person is Teemu Vainio (teemu.vainio@bluegiga.com).



Kuva: Timo Simpanen

Ad hoc -verkkojen tutkimus edistyy. Käytännön sovellukset ovat monin paikoin jo protoasteella. Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita on itseorganisoituvien radiopohjaisten verkkojen rakentamisessa? Miten ad hoc -verkkojen reititysprotokollat eroavat perinteisistä reititysprotokollista? Tehonkulutuksen minimointi, tietoturva ja sopeutuminen mielivaltaisesti muuttuviin topologioihin vaatii huolellisesti harkitut ratkaisut.

Elämmme langattoman tiedon siirron murrosvaihetta. Matkapuhelinten saavutettua saturaatiopisteensä ovat lähiverkkoteknologiat alkaneet

yleistyä. Niinpä uusimmat puhelimet ja kämmenmikrot pitävät jo sisällään Bluetoothiin ja kannettavat tietokoneet WLAN-verkkokortin.

Kun tarvittava verkkoinfrastruktuuri jostain paikasta puuttuu, langattomia laitteita valjastetaan reitittimiksi. Laitteiden liikkuvan luonteen vuoksi on selvää, että verkkotopologia muodostuu nopeasti ongelmaksi. Laitteita ei myöskään pidetä jatkuvasti päällä, joten haasteet toimivien verkkojen rakentamiseksi ovat kovat. Näitä verkkoja kutsutaan ad hoc -verkoiksi.

Perinteisten verkkojen rakentaminen ja ylläpito on enimmäkseen reitittimien konfigurointia ja kaapeleiden vetämistä. Ad hoc -verkoissa kaapeleita ei ole ja ma-

naallinen konfigurointi on käytännössä mahdoton ajatus. Näin ollen ad hoc -verkkojen reititys ja verkonhallinta pitää automatisoida ohjelmallisesti siten, ettei mitään tarvitse tehdä itse, vaan laitteet ylläpitävät verkon ja reitit itsenäisesti ottaen huomioon myös jatkuvasti muuttuvan topologian. Tätä tarkoitusta varten on suunniteltu monia reititysprotokollia. Suuri osa ad hoc -reititysprotokollista onkin optimoituja ja paranneltuja versioita vanhoista protokollista perinteisten verkkojen puolelta.

Ad hoc -verkoille on tyypillistä, että ne ovat eristyksissä muista verkoista. Ad hoc -verkoilla on toki yleensä yhdyskäytäviä olemassaoleviin verkkoihin. Esimerkkinä vaikkapa toimiston Bluetooth-yhdyskäytävät, jotka ovat kaikki yhden pisteen kautta yhteydessä Internetiin.

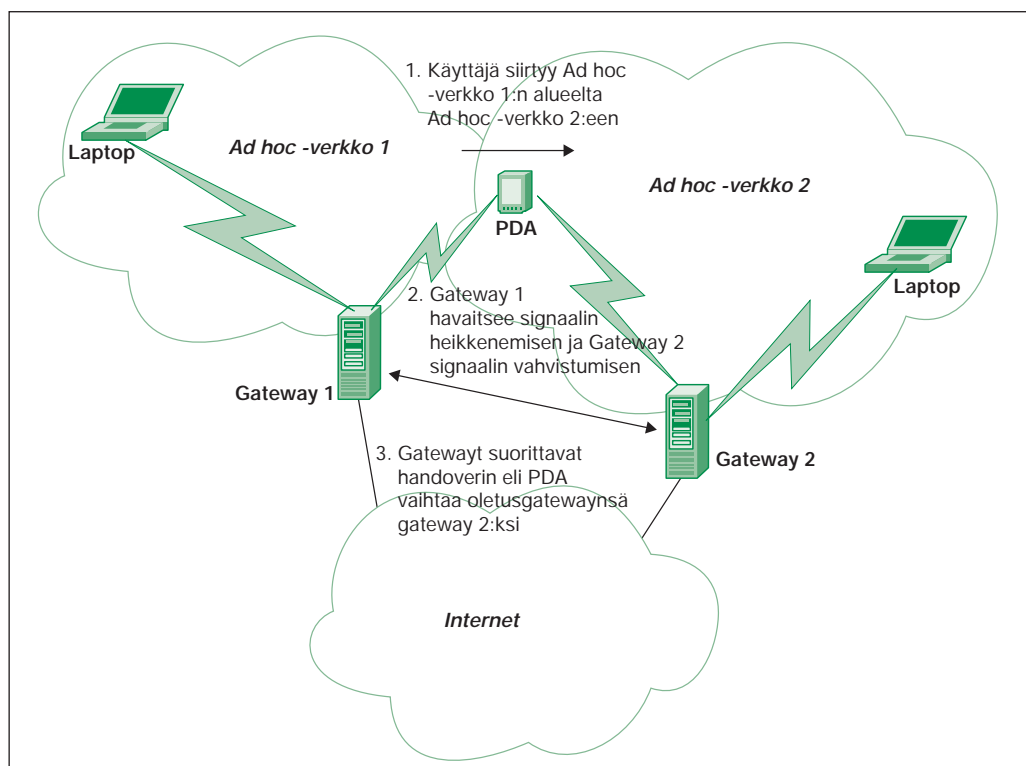
Ad hoc -verkon tarve harkittava huolella

On päivän selvää, ettei esimerkiksi hands free -kuulokkeessa olevaa Bluetoothia tulla koskaan varustamaan reitittimille vaaditulla toiminnallisuudella. Todennäköisempää onkin, että ad hoc -verkkojen suurin tarve löytyy paikoista, joissa tiedonliikettä tarvitaan, mutta tarpeellista infrastruktuuria ei kannata joko teknisistä tai taloudellisista syistä rakentaa perinteisin menetelmin.

Tällaisia voivat olla esimerkiksi isojen tehdashallien prosessien mittausta ja tiedon kerääminen taustajärjestelmiin. Näitä mittauspisteitä voi olla lukemattomia ja kaapelin korvaaminen säästää huomattavasti kustannuksia. Toisaalta ad hoc -verkkojen itsereitittävyyden tarve on selvä, sillä satojen pisteiden reititystaulujen konfigurointi ei ole mielekäästä.

Ad hoc -verkot tarjoavat myös mahdollisuuden paikallisiin yhteyksiin. Näin Bluetoothilla/WLANilla varustetulla PDA:lla tai jopa kännykällä voidaan halutessa ottaa yhteyksiä suoraan mittapisteen luona. Tämä on erittäin joustavaa verrattuna perinteisiin järjestelmiin, joista tiedot ovat saatavissa yleensä vain tietystä tarkkailupisteestä.

GSM/GPRS-modeemien hankinta tulee myös varsin edulliseksi, sillä parhaimmissa tapauksissa tarvitaan vain yksi modeemi. Muut laitteet lähettävät omat tietonsa modeemilla varustettuun yhdyskäytävään, jonka vastuulla on purskeen lähettäminen eteenpäin.



Ad hoc -verkot suorittavat verkon vaihdon (handover) käyttäjän siirtyessä verkosta toiseen.

Handover is done when the user moves from an ad hoc network to another.

Vaatimuksia ad hoc -reititykselle

Jotta koko kaistanleveys ei täytyisi reititysprotokollan paketteista ja järkevä reititysvarmuus olisi aina olemassa, on perinteisiä reititysprotokollia laajennettu monin tavoin. Internet Engineering Task Force (IETF) on työryhmä Mobile Ad Hoc Networking (MANet) ad hoc -reititysprotokollien tutkimiseen ja kehittämiseen. MANet onkin ehtinyt julkaista jo sängen monta Internet-ehdotusta erilaisista reititysprotokollista. Yleisesti ad hoc -reititysprotokollilta vaaditaan neljää seikkaa: turvallisuus, sopeutuminen mielivaltaisesti muuttuviin topologioihin ja optimointi kaistanleveyden sekä laskentatehon suhteen.

Turvallisuus on ad hoc -verkoille tärkeä vaatimus, sillä laitteet kommunikoivat radioaalloilla, joita voi periaatteessa salakuunnella hyvinkin pienin ponnostuksin. WLAN-verkoissa käytetään yleisesti 64 bitin salausta ja Bluetoothissa 128 bitin. Tämän päälle voi toki vielä lisätä sovellustason salaustekniikoita tai vaikka IPSecin.

Toimivuus muuttuvissa topologioissa on elintärkeää, sillä laitteiden ollessa liikkuvia on selvää, että verkko elää varsin voimakkaasti. Verkon on kyettävä säilyttämään yhteysvarmuus mahdollisimman korkealla tasolla, jotta katkoksia ei esiinny.

Vaatimukset ovat kuitenkin toisiaan poissulkevia, sillä verkon varma ylläpito tarkoittaa suurta reititysprotokollapaketien kuormaa ja varsin älykäästä logiikkaa. Tämä taas helposti kuluttaa kaistaa ja laskentatehoa suunnattomasti. Näin ollen monissa olemassa olevissa ratkaisuissa pyritäänkin löytämään se kultainen keskitie. Jotkut tinkivät toisesta, jotkut toisesta.

Ad hoc -reititysprotokollista puhutaan monesti joko proaktiivisina tai reaktiivisina. Proaktiiviset ovat yleensä etäisyysvektori-tyyppisiä, eli ne pyrkivät etukäteen selvittämään topologian, ja reitityspyynnöt ovat saavuttuaan helppo hoitaa. Reaktiiviset protokollat toimivat periaatteella, että reitityspyynnön saavuttua suoritetaan kattava polun haku kohteeseen.

Verkon vaihto eli handover on varsin keskeistä ad hoc -verkoille. Esimerkki handoverista on autossa oleva GSM-puhelin. Puhelimen on pystyttävä vaihtamaan tukiasemaa lennosta puhelun katkeamatta. Vastaava on pystyttävä toteuttamaan myös ad hoc -verkoissa, kun käyttäjä surfaa Internetissä. Tämä vaatii älykäästä ja nopeaa kommunikointia eri yhdyskäytävien välillä.

Perinteiset reititysprotokollat

Reititykseen käytettävät protokollat jaetaan yleisesti kahteen leiriin: linkin tilaan reagoivien

protokolliin (linkin tila -reititys, link state routing, shortest path first) sekä latenssiin perustuviin protokolliin (etäisyysvektoreireititys, distance vector routing).

Linkin tila -reititys perustuu siihen, että kun jonkin linkin tila muuttuu, uusi tila ilmoitetaan verkossa oleville reitittimille. Reitittimet päivittävät tilatiedon kantaansa ja rakentavat uudet reitit. Tässä mallissa jokainen reititin tietää koko verkon topologian. Tämä protokollatyyppejä säästää kaistaa ja on luotettavampi kuin etäisyysvektoreireititys.

Etäisyysvektoreireititys toimii taas siten, että reitittimet ilmoittavat naapureilleen reititystaulukonsa sisällön. Jokainen reititin poimii sen jälkeen edullisimman reitin naapureiltaan ja ilmoittaa siitä uudestaan naapureilleen. Iterointien jälkeen on jokaisella reitittimellä edullisimmat reitit naapureihinsa. Etäisyysvektoreireititys on yksinkertaisempaa toteuttaa kuin linkin tila-reititys ja esimerkiksi laskentatehon tarve on pienempi.

Ad hoc-reititysprotokollien tekniikat

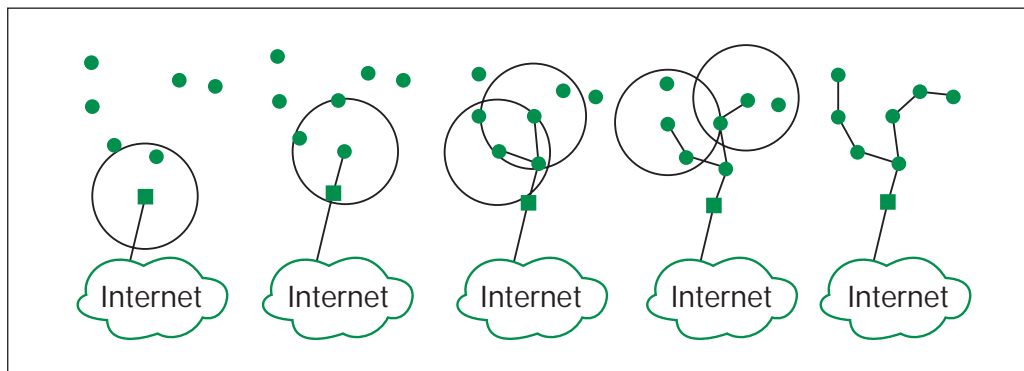
IETF:llä on tällä hetkellä work in progress -tilassa seitsemän eri ad hoc -reititysprotokollaa. Niiden suhtautumisessa edellä mainittuihin neljään vaatimukseen on eroja. Osa protokollista sopeutuu paremmin muuttuviin topologioihin, kun taas osa säästää kaistaa.

Yksi keino kaistan ja virran-kulutuksen säästöön löytyy reaktiivisista protokollista, esimerkiksi Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV). Tämän protokollan ideana on etsiä reitti vasta, kun sitä tarvitaan. Mitään reittejä ei etsitä ennen pyynnön saapumista. Pynnön saapussa haetaan reitti haluttuun kohteeseen ja reitillä olevat solmut päivittävät reititustauluunsa vain seuraavan hypyn kohteen. Näin paketti siirtyy ikäänkuin ämpäriketjussa eteenpäin.

Edellisen protokollan vastaakohtana ovat proaktiiviset, yleensä tulvimiseen (flooding) perustuvat protokollat. Ne tuhlavat häikäilemättä virtaa ja kaistaa olemassaolonsa ilmoittamiseen naapureilleen. Pienemmissä verkoissa, joissa yhteysvarmuus on tärkeää, se voi olla varsin toimiva ratkaisu. Tulvimiselle on myös kehitelty variaatioita, jotka semantiikaltaan ovat vielä selkeästi proaktiivisia, mutta laiskemmalla asenteella. Yhtenä esimerkkinä on niin sanottu juuruilu. Tässä mallissa jokainen solmu tulvii reititustietoja naapureilleen vain tietyllä todennäköisyydellä. Todennäköisyyttä voi säätää verkon topologian mukaan sopivaksi.

Eräs mielenkiintoinen tekniikka on jakaa mobiiliverkkoa dynaamisesti muuttuviin alueisiin solmujen liikkuvuuden perusteella. Tällaista lähestymistapaa käyttää muun muassa vyöhykereititysprotokolla (Zone Routing Protocol, ZRP). Mikäli verkko käyttäytyy täysin samalla tavalla kuin kiinteä verkko, on vyöhykkeen koko äärettömän iso. Kun taas solmujen liikkeet muokkaavat verkkoa, vyöhykkeen kokoa pienennetään.

Edellämainituista tekniikoista on ad hoc -reititystä tehtäessä valittava omaan tarkoitukseensa



Esimerkki miten juurisolmusta lähtenyt reititystieto tulvii koko verkon läpi rakentaen loogisen reititysmatriisin.

An example of how the "being alive" information propagates through the network and results in a logical routing matrix.

sopivin. Monet tekniikoista eivät ole toisiaan poissulkevia ja tästä syystä uusia protokollia kehitetään jatkuvasti lisää. Usein ne ovatkin hybridejä jo olemassaolevista protokollista.

Bluetooth ja ad hoc -verkot

Bluetooth on pinnan alta varsin monimutkainen radioteknologia, joka mahdollistaa konekommunikaation varsin pienellä sovellustason toiminnallisuudella. Sertifioijat ovatkin verranneet Bluetoothia jopa GSM-piinoa monimutkaisemmaksi. Alempien tasojen suuri toiminnallisuus onkin etu sovelluksia kehiteltäessä, sillä pyörää ei tarvitse keksiä uudestaan.

Bluetooth tukee ad hoc -verkoja ja niiden muodostamista baseband-tasolla. Tämä tarkoittaa sitä, että ilman mitään ylempien OSI-kerrosten logiikkaa, osaavat tyhmemmätkin Bluetooth-laitteet etsiä toisia laitteita ja avata yhteyksiä. Koska käytännössä ad hoc -verkot tullaan kuitenkin rakentamaan IP-pohjaisille verkoille, vaaditaan Bluetooth-laitteilta ylempillä tasolla lisää ominaisuuksia. Bluetooth-teknologia ei implisiitti-

sesti tarjoa IP-osoitteita eikä muutakaan IP-verkoille tarvittavaa toiminnallisuutta. Näin ollen IP ad hoc -verkkojen rakentaminen Bluetoothille on monimutkaisempaa, sillä tällöin pitää huomioida esimerkiksi Bluetoothin rajoitus vain seitsemälle samanaikaiselle yhteydelle.

Toisaalta Bluetooth tarjoaa ainutlaatuisia palveluja, joista ainakin Inquiry on hyödyllinen ad hoc -verkoille. Inquiry on eräänlainen yleislähetys lähiympäristöön, jolla Bluetooth pystyy kartoittamaan laitteet, jotka ovat kuulolla. Tämä on varsin kätevä toiminto, sillä verkon tilaa pystytään kartoittamaan jo matalalla tasolla ilman ylempien tasojen hukkadataa. Toinen hyvä palveluprofiili on Service Discovery Application Profile. Se tarjoaa mahdollisuuden ympärillä olevien palvelujen kartoittamiseen. Näin reitittimien numerointi helpottuu.

Bluetoothin toisen teholuokan kymmenen metrin kantama ei anna kovin edistynyttä mahdollisuutta suurempien lähiverkkojen luomiseen, mutta ensimmäisen teholuokan (kantama 100m) yleistyessä se tarjoaa jo oivan perustan ad hoc -verkoille. Bluetooth onkin suuren mielenkiinnon kohteena, sillä maltillisinkin visioiden mukaan sen yleistyminen tavallisista tietokoneista kodinkoneisiin on aivan lähitulevaisuudessa.

Konekommunikaatio ja verkotus

Prossoritehon kasvaessa ja laitteiden pienentyessä ovat myös edellytykset ad hoc -verkoille ja reititykselle parantuneet. Niin sanottu retrofit, eli mahdollisuus tuoda jo olemassaoleviin järjestelmiin lisäarvopalveluita ad hoc -verkkojen myötä on tärkeää. Tällaisia ratkaisuja tarjoaa esimerkiksi BlueGiga Oy:n WRAP-tuoteperhe.

TEKESin tukema tutkimusprojekti itseorganisoituville verkoille lisää entisestään konekommunikaation penetraatiota ja tarjoaa uusia sovellusalueita niin järjestelmätoimittajille kuin loppukäyttäjille. Suurin haasteista onkin uusien sovellusten suunnittelu, eikä niinkään alla oleva fyysinen siirtotie ja sitä koskevat teknologiat.●

Aiheesta enemmän

Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networking (MANet) workgroup:

http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet_home.html
www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html

Teknillisen korkeakoulun Mobile Ad-hoc Routing Test-bed (MART) projekti:

www.cs.hut.fi/%7EEmart/

Bluetooth SIG:

www.bluetooth.org

Sanasto

AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing, IETF:n in progress -tilassa oleva reaktiivinen ad hoc -protokolla
IETF	Internet Engineering Task Force, Internet-teknologiaa ja tutkimusta edistävä järjestö
IPSec	IP Security, IP-verkkojen verkkotason salausprotokolla
MANet	Mobile Ad Hoc Networking workgroup, IETF:n työryhmä, joka tutkii mobiileja ad hoc -verkoja
ZRP	Zone Routing Protocol, ad hoc -reititysprotokolla, joka perustuu verkon jakamiseen vyöhykkeisiin solmujen liikkuvuuden perusteella

Taustat

Kirjoittaja: Tekn. yo. Teemu Vainio, Projektipäällikkö, BlueGiga Technologies Oy
www.bluegiga.com

Yhteyshenkilö:
teemu.vainio@bluegiga.com

Tutkimus: Itseorganisoituvat langattomat ad hoc -verkot

Teknologiaohjelma: NETS