

Juha Valtonen

Hajautetun zigbee-verkon luotettavuustestaus



Juha Valtonen

Hajautetun ZigBee-verkon luotettavuus-testaus

Sarja B. Raportit ja selvitykset 5/2011

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
Kemi 2011

© Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-5897-15-9 (pdf)
ISSN 1799-2834
ISSN 17999-831X

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun
julkaisu
Sarja B. Raportit ja selvitykset 5/2011

Digipolis, Euroopan Unioni Euroopan
aluekehitysrahasto, Lapin liitto

Kannen kuva: Juha Valtonen

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
PL 505
94101 Kemi
Puh. 010 353 50

www.tokem.fi/julkaisut

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulu-
konserni LUC on
yliopiston ja kahden
ammattikorkeakoulun
strateginen yhteen-
liittymä. Konserniin
kuuluvat Lapin yliopisto,
Kemi-Tornion ammatti-
korkeakoulu ja Rovaniemen ammattikorkea-
koulu.

www.luc.fi

Tiivistelmä

Tämän testauksen tarkoituksena oli saada selville ZigBee-verkon luotettavuutta. Testaus tapahtui ZigBee-pinon 2006 versiolla. Testauksessa käytiin läpi neljä eri testitapahtumaa. Jokaisessa testin kesto oli yli viikon, ja lähetettyjen viestien lukumäärä saavutti vähintään 90 000 viestiä. Testitapahtumissa vaihteli laitteiden määrä sekä niiden sijoittelu. Verkon tapahtumat luettiin koordinaattorilta sarjaliikenteen kautta PC:lle. PC-sovellukselta oli luettavissa viestien määrä sekä kuinka moneen niistä ei saatu ACK-viestiä vahvistukseksi. Eri testitilanteet antoivat kuvaa kuinka ZigBee-verkko käyttäytyy kun laitteiden määrä kasvaa sekä niiden sijainti muuttuu. Viimeisessä testissä haluttiin selvittää mahdollinen WLAN:n vaikutus ZigBee-verkkoon käyttämällä kanavaa, joka ei mene päällekkäin käytössä olevien WLAN kanavien kanssa.

Abstract

This test was designed to identify the reliability of a large ZigBee network. Testing was conducted using the 2006 ZigBee. Four different test cases were conducted in this testing. Every test case lasted over a week and number of sent messages reached at least 90000 messages. Number of devices and their locations varied with each test. Events on the network were read from the coordinator to PC through serial communication. Message count could be read from PC software and how many of those messages did not receive an acknowledge (ACK). Different test cases showed how ZigBee network acts when number of devices increase and their location changes. The last test was used to analyze possible WLAN interference on the ZigBee network by using a channel which does not overlap with existing WLAN channels.

Avainsanat

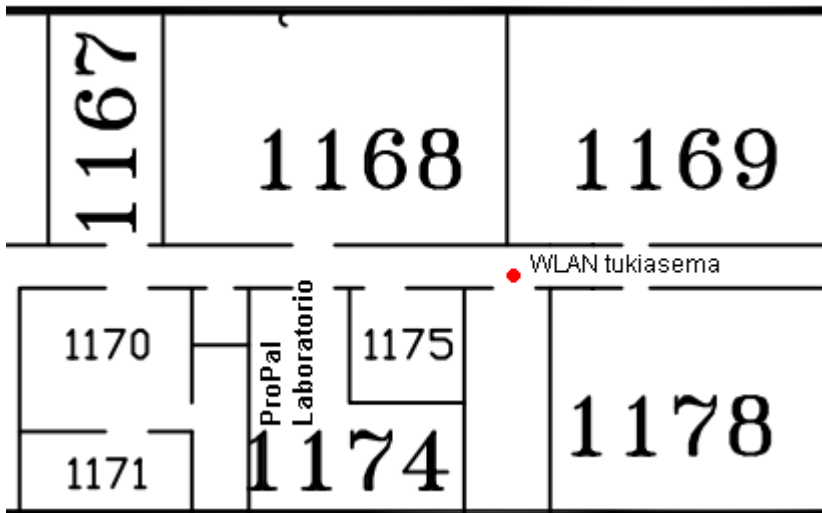
ZigBee, WiFi, Sulautettu tietotekniikka, Langaton tiedonsiirto, Luotettavuustestaus

Sisällys

Testiympäristö	5
CONTROL NETWORK LOGGER	6
KONTROLLIVERKKO	7
Testaaminen	10
PIENEN VERKON TESTAAMINEN	10
SUUREN VERKON TESTAAMINEN	10
SUUREN HAJAUTETUN VERKON TESTAAMINEN	10
SUUREN HAJAUTETUN VERKON TESTAAMINEN KÄYTTÄEN KANAVAA 17	12
Yhteenveto	14
Lähteet	15

Testiympäristö

Testit toteutettiin Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön J-käytävän ympäristössä. Huoneina käytettiin ProPal laboratoriota sekä sitä ympäröiviä pienempiä huoneita. Seinien materiaali on pääosin tiiltä, mutta ProPal laboratorion ja huoneen 1175 välinen seinä on lastulevyä. Lähialueella vaikuttaa myös kaksi WLAN-tukiasemaa, joista toinen on ihan testialueen läheisyydessä. Alueella liikkuu myös ihmisiä, mutta suurin osa ihmisistä sijaitsee suurissa luokkahuoneissa, joihin tässä testissä ei sijoitettu yhtään päätelaitetta.



Kuva 1. Testialueen kartta

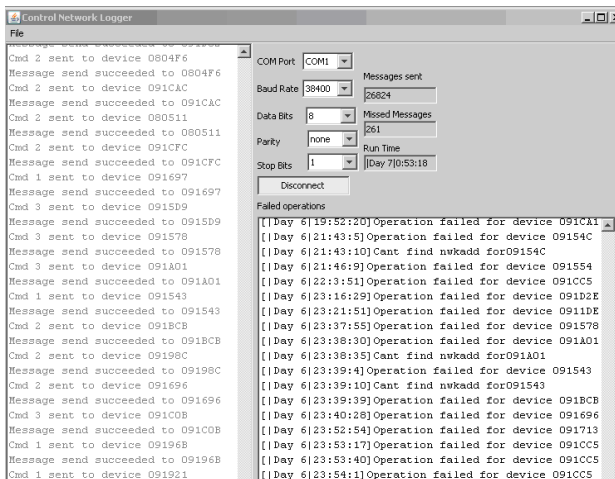
Testissä käytettiin Texas Instrumentsin CC2430 radiopiirejä. Päätelaitteiden alustoina käytettiin SOC-BB paristoalustoja, jotka toimivat kahdella AA paristolla. Reitittimien ja koordinaattorin alustana toimivat SmartRF04 kehitysalustat, jotka olivat kytkettyinä verkkovirtaan.



Kuva 2. SOC-BB sekä SmartRF04 joissa CC2430 moduulit

CONTROL NETWORK LOGGER

Control Network Logger on Javalla ohjelmoitu yksinkertainen lokiohjelma, joka on luotu seuraamaan tämän verkkotestauksen liikennettä. Ohjelmalla luodaan sarjaporttiyhteys koordinaattoriin. Yhteydenoton jälkeen ohjelma ottaa vastaan viestejä koordinaattorilta. Ohjelmassa on kaksi tekstikenttää joista toinen ilmoittaa kaiken liikenteen ja toinen vain virheviestit. Tekstikentästä on luettavissa myös laitteen ID, joka auttaa korjaamaan ongelmatilanteita. Ohjelma pitää myös yllä lukua, kuinka monta viestiä koordinaattori on lähettänyt ja kuinka moneen se ei ole saanut ACK-viestiä takaisin. Ohjelmasta on myös luettavissa testissä kulunut aika.



Kuva 3. Control Network Logger

KONTROLLIVERKKO

Kontrolliverkko on ohjelmoitu ZigBee 2006 pinon päälle. Verkossa on yksi koordinaattori, joka lähettää komentoja päätelaitteille käyttäen niiden verkko-osoitetta. Päätelaitteiden pitää kuitata koordinaattorille ACK-komennolla, että viesti on vastaanotettu. Jokaisen päätelaitteen IEEE-osoite on listattuna koordinaattorin koodissa, joita se käyttää laitteiden verkko-osoitteen selvittämiseen. IEEE-osoite on 64-bittinen osoite, joka on jokaisella laitteella eri. Osoite on esitetty heksadesimaalilukuna ja tässä tapauksessa ainoastaan sen kuusi viimeistä heksadesimaalilukua vaihtelee. Tämän takia koodissa on listattuna vain nämä kuusi viimeistä heksadesimaalilukua ja osoitteen alkuosa voidaan liittää siihen tarvittaessa. Tämä säästää huomattavasti piirin muistia. Alla on nähtävissä patkä osoitteiden taulukosta. Listassa olevat osoitteet ovat käänteisessä järjestyksessä.

```
static const byte devEnd[5]={0x00,0x00,0x4B,0x12,0x00};
static const byte dev[][3] ={
    { 0xF9,0x1C,0x09},
    { 0x3A,0x05,0x08},
    { 0xB4,0x1C,0x09},
    { 0x7E,0x15,0x09},
    { 0x13,0x17,0x09},
```

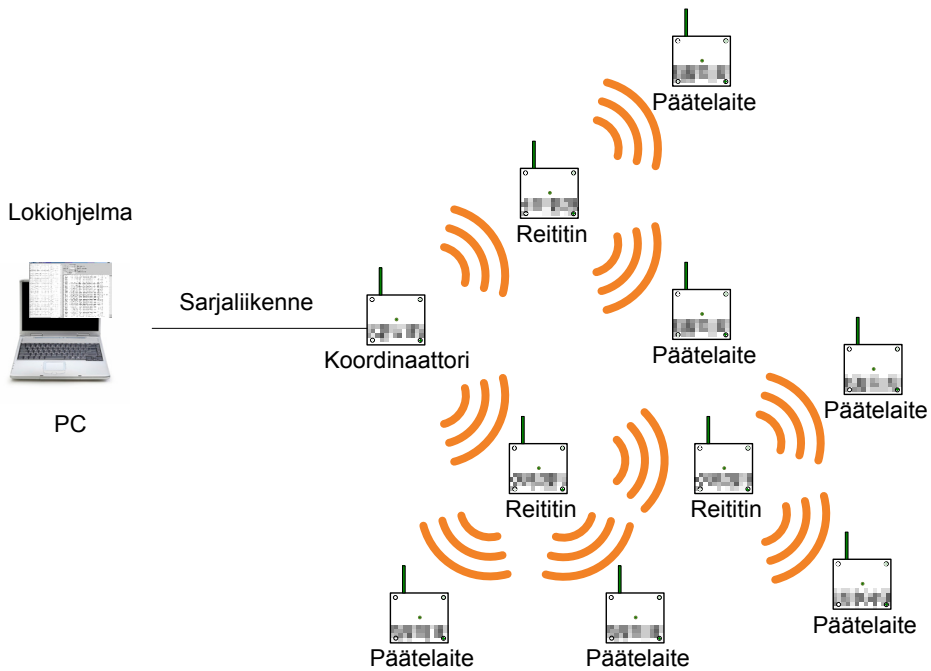
Kuva 4. IEEE -osoitteen listaus koodissa

IEEE-osoitteen avulla selvitettävät verkko-osoitteet ovat 16-bittisiä osoitteita, jonka jokainen päätelaite saa automaattisesti liittyttyään ZigBee-verkkoon. Selvitetyt verkko-osoitteet tallennetaan omaan taulukkoonsa jossa niiden solunumero vastaa IEEE-osoitteen solunumeroa. Verkko-osoitteen avulla viestit saadaan lähetettyä vain yhdelle halutulle laitteelle kontrolliverkossa.

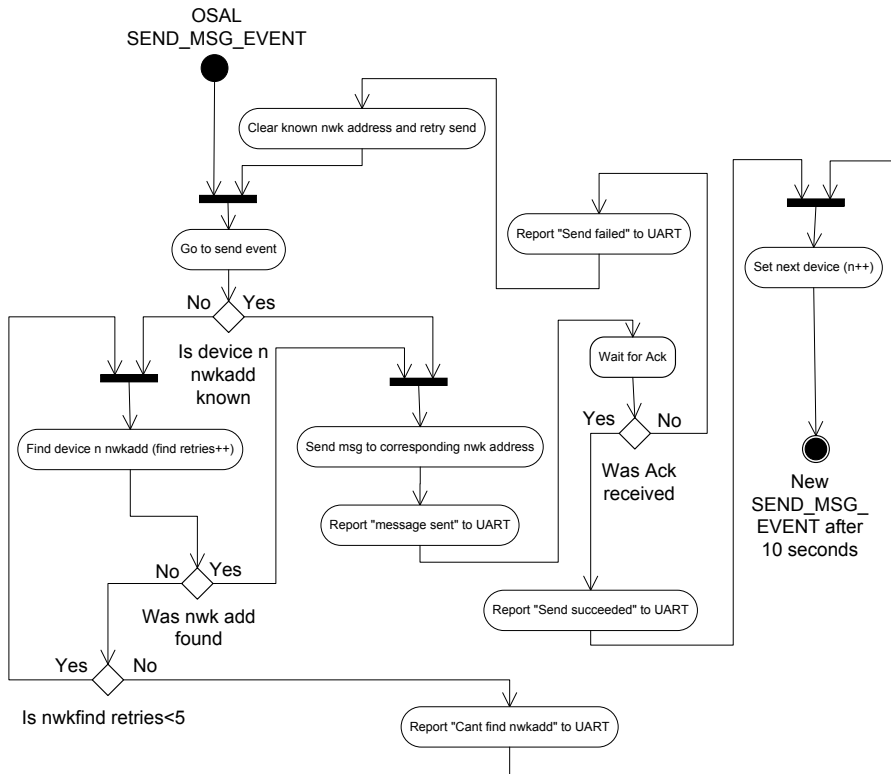
Testissä koordinaattori lähettää viestin yhdelle päätelaitteelle kerrallaan kymmenen sekunnin välein. Viesti sisältää satunnaisesti yhden kolmesta mahdollisesta komennosta. Komento ei kuitenkaan tässä testissä laita päätelaitetta tekemään mitään. Alun perin komento aiheutti LEDin vilkuttuksen päätelaitteella, mutta LEDin käyttö poistettiin virran säästämiseksi. Jos viesti saavuttaa päätelaitteen, lähettää päätelaite ACK-viestin koordinaattorille kuittaamaan viestin vastaanotetuksi. Jos ACK-viestiä ei saada, ilmoittaa koordinaattori lokiohjelmalle, että viesti ei saapunut perille. Testeissä on käytössä ZigBee-pinon ACK oletusasetukset. ACK oletusasetuksissa vastusta odotetaan 3 sekuntia ja uudelleen yrityksiä on 3 kappaletta. Jos näiden uudelleenyritysten jälkeenkin ACK viesti on edelleen saamatta, yrittää koordinaattori lähettää uudestaan samalle laitteelle viestin, mutta tarkistaa ensin että laite löytyy verkosta. Tarkistus tehdään hakemalla verkko-osoite uudelleen. Uudella osoitteen haulla selviää onko laite mahdollisesti liittynyt verkkoon uudella osoitteella. Jos verkko-osoitetta ei löydy, niin koordinaattori olettaa laitteen pudonneen verkosta ja

siirtyy seuraavaan laitteeseen. Verkosta pudonneeseen laitteeseen yritetään ottaa yhteys jälleen, kun taulukko on kiertänyt muut laitteet läpi. Kontrolliverkossa on myös tietty määrä reitittimiä suhteutettuna päätelaitteiden määrään. Kun koordinaattorin lähetyksen on käynnistetty, se lähettää viestejä niin kauan kunnes se sammutetaan.

Testissä on päätelaitteilla käytössä virransäästö asetukset. Päätelaitteet nukkuvat pääosan ajasta ja kyselevät isäntälaitteilta sekunnin välein onko heille tullut viestejä. Nukkumisen aikana piiri sammuttaa suurimman osan sen laitteista. Virransäästö asetusten käyttö mahdollistaa päätelaitteiden pitkän käytön samoilla paristoilla.



Kuva 5. Kontrolliverkon kuvaus



Kuva 6. Kontrolliverkon koordinaattorin toimintakaavio

Testaaminen

Testejä toteutettiin yhteensä neljä kappaletta, joissa käytettiin eri määriä laitteita ja eri sijoittelua. Testejä ajettiin kunnes viestejä oli lähetetty yli 90000 joka kesti noin kaksi viikkoa. Jokaisen testin jälkeen jokainen laite sammutettiin ja niihin vaihdettiin tarvittaessa paristot ja tehtiin tarvittaessa pieniä muutoksia ohjelmistoon. Viimeisessä testissä kokeiltiin kanavaa, joka ei osu päällekkäin alueella olevan WLAN:n kanssa. Alueen läheisyydessä on kaksi eri WLAN tukiasemaa, jotka toimivat kanavalla 1 ja 11.

PIENEN VERKON TESTAAMINEN

Pienen verkon testauksessa oli käytössä koordinaattorin lisäksi kymmenen päätelaitetta sekä kaksi reititintä. Kaikki laitteet olivat maksimissaan noin kahden metrin päässä koordinaattorista. Testiä pyöritettiin yli viikon ajan ja se pysäytettiin noin 90000 lähetetyn viestin kohdalla. Näistä viesteistä vain neljään ei tullut ACK vastausta koordinaattorille. Tästä voi todeta, että verkko on todella luotettava pienellä alueella ja pienellä määrällä.

Tässä testissä virhetilanteet saattoivat johtua siitä, että päätelaitteet olivat vaihtaneet reititintä ja tässä tilanteessa niiden verkko-osoite oli muuttunut ja kontrolliverkko ei ottanut tätä huomioon. Tämä tilanne korjattiin seuraaviin testeihin niin, että aina kun päätelaite liittyy verkkoon, se ilmoittaa verkko-osoitteensa koordinaattorille.

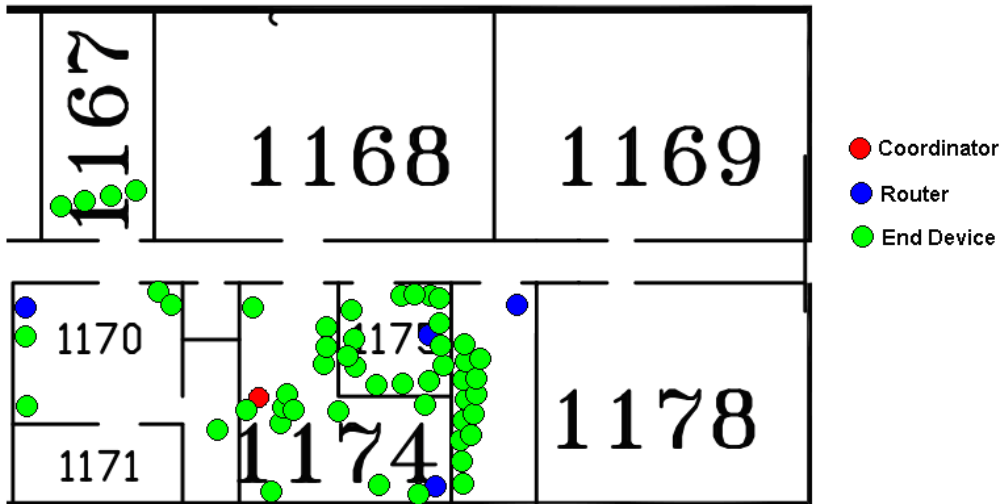
SUUREN VERKON TESTAAMINEN

Tähän testiin päätelaitteiden lukumäärää kasvatettiin 50:een, mutta laitteet olivat edelleen lähietäisyydellä. Reitittimien määrä nostettiin neljään. Testi pysäytettiin noin 95000 lähetetyn viestin kohdalla. Lähetetyistä viesteistä noin 50 viestiin ei tullut ACK vastausta. Määrä kasvoi huomattavasti suuremmalla verkolla, mutta ei vielä hälyttävän suureksi.

SUUREN HAJAUTETUN VERKON TESTAAMINEN

Suuren verkon testauksessa 50 laitetta sijoitettiin viiteen eri huoneeseen. Jokaiseen huoneeseen paitsi yhteen sijoitettiin myös yksi reititin. Laitteiden sijoittelua rajoitti paljon käytössä olevat tilat. Laitteet pyrittiin sijoittelemaan niin, etteivät ne tulisi

tiloja käyttävien henkilöiden tielle. Esimerkiksi yhdessä huoneessa ainoa sopiva sijoituspaikka oli seinällä oleva hylly. Myös reitittimien sijoittelua rajoitti tarve verkkopistokkeelle.



Kuva 7. Laitteiden sijoittelu

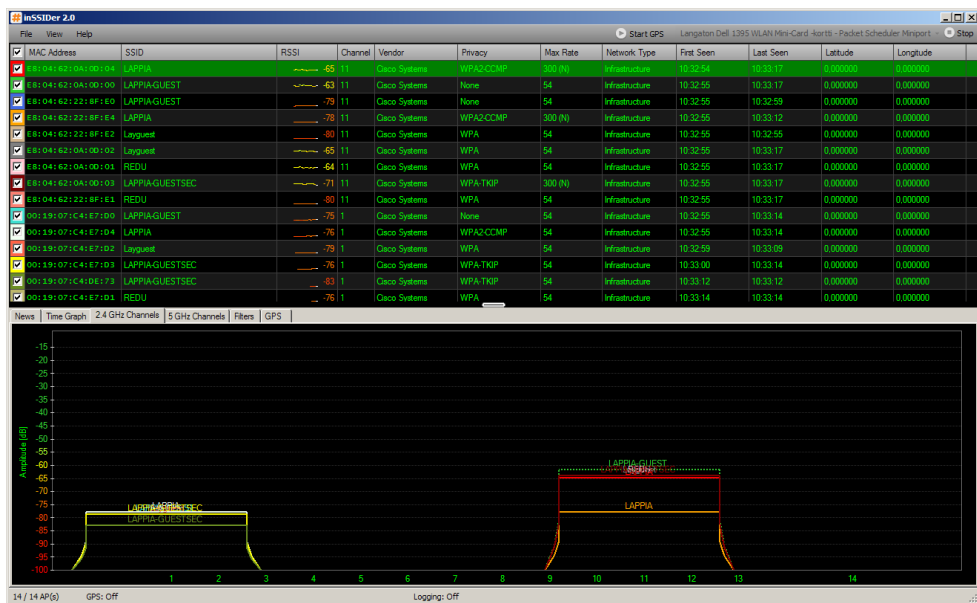
Testiä ajettiin noin kahden viikon ajan yhteensä 112000 viestiä. Näistä viesteistä 629:een viestiin ei saatu ACK vahvistusta. Tulos oli huomattavasti muita testejä korkeampi. Testin aikana myös jouduttiin muutaman kerran käynnistämään verkosta pudonnut päätelaite uudelleen koska se ei muuten näyttänyt pääsevän takaisin verkkoon. Tämä oli myös ainoa testitapauksista jossa koordinaattorilla tapahtui outo virhetilanne, jolloin se lopetti lähettämisen kokonaan. Tämä virhetilanne ei vaikuttanut kuitenkaan mitenkään tulokseen, sillä lähetys saatiin takaisin päälle ilman uudelleenkäynnistystä.

Virheviesteissä huomattiin tässä testissä selvä kaavamaisuus. Virheitä tuli yleensä vain työaikana ja yöt sekä illat olivat lähes virheettömiä. Tästä pystyttiin päättämään kaksi mahdollista syytä. Yksi on ihmisen aiheuttama häiriö, sillä signaali vaihtelee huomattavan paljon sen kulkiessa ihmisen läpi. Tielle osuvien ihmisten määrä on kumminkin hyvin pieni, joten on todella epätodennäköistä, että virheet olisivat pelkästään ihmisten aiheuttamia. Toinen on alueella vaikuttava WLAN, joka todettiin inSSIDer ilmaisohjelmalla olevan WLAN kanavalla 1, joka menee testissä käytössä olevan ZigBee 11 kanavan kanssa päällekkäin. ZigBee verkko toimii taajuudella 2405MHz ja WLAN 2412MHz. WLAN kaistanleveys on 22MHz. WLAN-verkon vaikutuksesta ZigBee verkkoon on tehty useita testejä eri tahojen puolesta, joiden tulokset ovat olleet ristiriitaisia. Tämä käy ilmi Schneider Electricin testiraportista. Monessa testissä oli testattu kotikäyttöön tarkoitettua WLAN verkon vaikutusta

ZigBee verkkoon. Tämän testin alueella oleva WLAN on vilkkaampi ja tehokkaampi kuin keskiverto kotiverkko. Tämän pohjalta päätettiin tehdä vielä yksi testaus samalla laitteistolla, mutta kanava vaihdettiin pois WLAN verkon vaikutuksen alueelta. (Thonet, Gilles & Allard-Jacquin, Patrick & Colle, Pierre 2008)

SUUREN HAJAUTETUN VERKON TESTAAMINEN KÄYTTÄEN KANAVAA 17

Testin ensimmäisenä työnä oli löytää kanava, joka ei osuisi alueella vaikuttavien WLAN kanavien päälle. Käytössä olevat WLAN kanavat tutkittiin inSSIDer ilmaisohjelmalla. Alueella olevat WLAN verkot olivat kanavalla 1 tai 11. Näiden taajuusalueet ovat 2412MHz sekä 2462MHz. Sopivaksi ZigBee verkon kanavaksi todettiin 17 joka osuu taajuudelle 2435MHz. Testissä käytettiin lähes samoja laitteiden sijain- teja kuin edellisessä testissä, muutamaa pientä muutosta lukuun ottamatta.



Kuva 8. inSSIDer

Testiä ajettiin jälleen noin kahden viikon ajan, ja viestejä kertyi noin 107000. Näistä ACK jäi saamatta 106 viestiin. Tulos oli huomattavasti pienempi kuin edellisessä testissä. Tästä voidaan päätellä että WLAN aiheutti häiriötä edellisessä testissä. Testissä kumminkin kävi edelleen ilmi, että sen virhetilanteet sattuivat pääosin työaikaan, ja ilta/yö ajat olivat virheettömiä. On mahdollista, että ihminen on voinut olla aiheuttamassa häiriötä jonkin verran, mutta on epätodennäköistä, että se olisi ainoa virheiden aiheuttaja.

Taulukko 1. Testien tulokset

Pääte- laitteiden määrä	WLAN päällekkäin	Etäisyydet	Viestejä (noin)	Virheitä	Virhe %
10	X	1–2 m	90 000	4	0,004
50	X	1–2 m	95 000	50	0,053
50	X	1–10 m	112 000	629	0,562
50		1–10 m	107 000	106	0,099

Yhteenveto

Testeissä seurattiin kuinka moneen koordinaattorin lähettämään viestiin ei saatu ACK-viestiä. Virheiden määrä kasvoi, kun verkkoa kasvatettiin tai se hajautettiin ympärillä oleviin huoneisiin. Testissä myös huomattiin kuinka alueella oleva WLAN vaikutti verkkotestaukseen, kun niiden kanavat osuivat päällekkäin. Virheiden määrä pysyi suhteellisen pienenä, eikä koskaan noussut edes yhteen prosenttiin. Laajan testauksen virhetulos kanavalla 17 oli noin promillen. Testissä oli käytössä ZigBee-pinon oletus ACK-asetukset, joita muuttamalla voitaisiin ehkä päästä vielä parempaan tulokseen. Näillä tuloksilla verkko vaikuttaa hyvin luotettavalta.

Testeissä ilmaantui vielä muutamia muita virhetilanteita jotka vaativat tarkempaa tutkintaa. Muutamaan otteeseen jouduttiin satunnainen päätelaite käynnistämään uudestaan, kun se oli pudonnut verkosta, eikä onnistunut enää liittymään takaisin. Tämä voidaan mahdollisesti korjata niin, että laite käynnistää itse itsensä uudestaan, kun se on ollut tarpeeksi pitkän ajan ulkona verkosta. Verkosta tippunut laite ei aiheuta testissä kuin yhden virhetiedon, joka aiheutuu ensimmäisestä lähetysoikeudesta. Jos laitetta ei löydetä verkosta, sille ei yritetä lähettää viestiä.

ZigBee pinosta on saatavilla myös uudempi versio 2007. Uudemmassa versiossa on toteutettu tiettyjä asioita erillä tavalla, jotka voivat näkyä tällaisen verkon testissä. Jatkossa tullaan mahdollisesti kokeilemaan tätä verkkotestiä myös uudella versiolla, mutta testi joudutaan toteuttamaan ainakin aluksi vain pienellä määrällä, sillä pino tarvitsee uudemmat CC2530 piirit, joita olisi tällä hetkellä ollut käytettävissä vain noin kymmenen.

Lähteet

Thonet, Gilles & Allard-Jacquin, Patrick & Colle, Pierre 2008. *ZigBee – WiFi Coexistence*. Schneider Electric White Paper and Test Report. Hakupäivä 13.6.2011.
http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=13184

Testauksen tarkoituksena oli saada selville ZigBee-verkon luotettavuutta. Testaus tapahtui ZigBee-pinon 2006 versiolla. Testauksessa käytiin läpi neljä eri testitapahtumaa. Jokaisessa testin kesto oli yli viikon, ja lähetettyjen viestien lukumäärä saavutti vähintään 90 000 viestiä. Testitapahtumissa vaihteli laitteiden määrä sekä niiden sijoittelu. Verkon tapahtumat luettiin koordinaattorilta sarjaliikenteen kautta PC:lle. PC-sovellukselta oli luettavissa viestien määrä sekä kuinka moneen niistä ei saatu ACK-viestiä vahvistukseksi. Eri testitilanteet antoivat kuvaa kuinka ZigBee-verkko käyttäytyy kun laitteiden määrä kasvaa sekä niiden sijainti muuttuu. Viimeisessä testissä haluttiin selvittää mahdollinen WLAN:n vaikutus ZigBee-verkkoon käyttämällä kanavaa, joka ei mene päällekkäin käytössä olevien WLAN kanavien kanssa.