

# Langattoman tiedonsiirron toteuttaminen mittalaitteeseen

Juha Pärnänen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



**Savonia**  
ammattikorkeakoulu



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Elektroniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Juha Pärnänen	
Työn nimi Langattoman tiedonsiirron toteuttaminen mittalaitteeseen	
Päiväys 18.8.2011	Sivumäärä/Liitteet 45
Ohjaaja(t) yliopettaja Väinö Maksimainen, yliopettaja Arto Toppinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu / Delfin Technologies Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli toteuttaa langattoman tiedonsiirron sovelluspohja Delfin Technologies Oy:lle. Työ tehtiin osana Savonia-ammattikorkeakoulun ja yhteistyöyritysten Lange-hanketta, joka tutkii langattomia IP-tekniikoita ja niiden aikatahdistusta. Hankkeen keskeisenä tekniikkana käytetään IEEE 802.11 -standardin WLAN-tekniikkaa.</p> <p>Delfin Technologies Oy kehittää erilaisia ihon ominaisuuksia tutkivia mittalaitteita. Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ja kehittää langattoman tiedonsiirron sovelluspohja, jota voitaisiin soveltaa yrityksen mittalaitteisiin. Yrityksen mittalaitteissa on käytössä radiotekniikkaa käyttävä langaton tiedonsiirto, mutta tarpeena oli siirtyä käyttämään valmiiksi hyväksyntätästettyjä tiedonsiirtomodulleja, jotta laitteiden saaminen kansainvälisille markkinoille helpottuisi.</p> <p>Työssä suunniteltiin ja toteutettiin ensin piirilevy Lange-hankkeessa käytettävälle WLAN-moduulille. Tämän jälkeen suunniteltiin ja ohjelmoitiin mikrokontrollerille ohjelmisto moduulin ohjaamiseen ja moduulilta tulevan datan käsittelyyn. Lopputuloksena saatiin toimiva sovellusalusta. Työn edetessä ilmeni ongelmia WLAN-tekniikan käytössä kyseisessä sovelluksessa. Vaihtoehtoksi WLAN-tekniikalle pohdittiin Bluetoothin käyttöä.</p>	
Avainsanat IEEE 802.11, WLAN, Bluetooth, moduuli	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electronic Engineering			
Author(s) Juha Pärnänen			
Title of Thesis Implementing Wireless Data Transfer for Measuring Device			
Date	18 August 2011	Pages/Appendices	45
Supervisor(s) Mr Väinö Maksimainen, Principal Lecturer, Mr Arto Toppinen, Principal Lecturer			
Project/Partners Savonia University of Applied Sciences / Delfin Technologies Ltd.			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to implement wireless data transfer for a measuring device made by Delfin Technologies Ltd. This thesis was done as a part of the Lange project that focuses on time synchronization of IEEE 802.11 based wireless sensor nodes. The project is carried out by Savonia University of Applied Sciences and several companies in the Kuopio area.</p> <p>Delfin Technologies Ltd. is a company that develops scientific instruments for measuring skin properties. Their products have a wireless connection that needed to be upgraded. The aim was to find a solution that uses a technology that is easier and cheaper than the current version to release on the market by means of different compliance tests. The thesis was decided to be done by using an IEEE 802.11 based module that has already passed the regulatory tests.</p> <p>The thesis was started by designing a printed circuit board for the WLAN module used in the Lange project. After this, a program was designed and programmed on a microcontroller to control the module and to handle the received data from the module. As a result a working platform for controlling and using the module was implemented. Some problems occurred using the WLAN technology for this solution and a different approach using the Bluetooth technology was considered.</p>			
Keywords IEEE 802.11, WLAN, Bluetooth, module			
Public			

## ALKUSANAT

Tein opinnäytetyöni osana Lange-hanketta Kuopiossa alkuvuonna 2011. Työtä tehdessäni sain paljon kokemusta piirilevysuunnittelusta, sulautettujen laitteiden ohjelmoinnista sekä erilaisista langattomista tekniikoista ja niiden soveltamisesta ja mahdollisuuksista.

Haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajaa yliopettaja Väinö Maksimaista, Delfin Technologies Oy:n Heikki Merirantaa, Lange-hankkeen kaikkia osallistujia, Savonian IT-yksikön väkeä sekä kaikkia muita, jotka ovat olleet tukenani opinnäytetyöni ja opintojeni aikana.

Kuopiossa 18.8.2011

Juha Pärnänen



## SISÄLTÖ

LYHENTEET JA KÄSITTEET .....	8
1 JOHDANTO.....	9
2 LANGE-HANKE.....	10
3 WLAN-TEKNIikka .....	11
3.1 Kerrosmalli .....	11
3.1.1 Fyysinen kerros .....	11
3.1.2 Siirtokerros .....	12
3.2 Taajuusalueet ja kanavointi .....	13
3.3 IEEE 802.11 -standardit.....	14
3.4 Verkkojen rakenteita .....	15
4 BLUETOOTH .....	17
4.1 Kerrosmalli .....	17
4.2 Tekniikka .....	18
4.3 Bluetooth-profiilit.....	21
5 WLAN- JA BLUETOOTH-TEKNIIKAN VERTAILUA.....	23
6 GAINSPAN CORPORATIONIN WLAN-MODUULIT .....	24
6.1 Yritys .....	24
6.2 GS1011M-moduulit.....	24
7 BLUEGIGA TECHNOLOGIESIN BLUETOOTH-TUOTTEET .....	27
7.1 Bluetooth 2.1 + EDR -moduulit .....	27
7.2 Bluetooth Low Energy -tuotteet.....	28
8 EMOLEVYN SUUNNITTELU GS1011M-MODUULILLE .....	31
9 TOTEUTUS.....	33
9.1 Työkalut.....	33
9.2 Mittalaitteen rakenne .....	34
9.3 Käyttötilanne.....	35
9.4 GainSpan GS1011M -moduulin käyttö.....	36
9.5 Toteutuksen rakenne .....	36
9.6 Sovelluksen kehitys ja ohjelmointi.....	37
9.6.1 Tiedon lähetys moduulille STK500-alustalla .....	39
9.6.2 Tiedon lukeminen moduulilta .....	40
9.6.3 Merkkijonon käsittely .....	40
9.6.4 Pääohjelman rakenne.....	41
9.7 Lopputulos.....	41
10 PÄÄTELMÄT .....	42
LÄHTEET.....	43

## LYHENTEET JA KÄSITTEET

Ad-hoc	WLAN-laitteiden välinen suora yhteys ilman tukiasemaa
AFH	(Adaptive Frequency-Hopping spread spectrum) Bluetooth-laitteiden käyttämä taajuushyppelytekniikka, jolla jätetään hyppelykuviosta ruuhkaiset taajuudet pois
AP	(Access Point) Tukiasema langattomalle verkolle
ARM	(Advanced RISC Machine) 32-bittinen suoritinarkkitehtuuri
CSMA/CA	(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) Langattomien lähiverkkojen vuoronvaraustekniikka
CSMA/CD	(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) Lähiverkkojen vuoronvaraustekniikka, joka on käytössä Ethernet-verkoissa
DSSS	(Direct Sequence Spread Spectrum) Suorasekventointi, signaalin koodausmenetelmä
EDGE	(Enhanced Data rates for Global Evolution) GPRS-tekniikkaan perustuva tiedonsiirtopalvelu
FHSS	(Frequency Hopping Spread Spectrum) Taajuushyppely, signaalin koodausmenetelmä
GPRS	(General Packet Radio Service) GSM-verkossa toimiva tiedonsiirtopalvelu, jota käytetään pääasiassa langattomaan internet-yhteyteen
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers) Kansainvälinen tekniikan alan järjestö, joka mm. määrittelee monia alan standardeja
IP	(Internet Protocol) TCP/IP-mallin protokolla, joka huolehtii tietoliikennepakettien toimittamisesta perille IP-osoitteiden perusteella.
ISM	(Industrial, Scientific, Medical) Maailmanlaajuinen lisenssivapaa radio- taajuuskaista mm. 2,4 GHz taajuuksilla
JTAG	(Joint Test Action Group) Yleinen nimi standardoidulle laitteiston testaukseen käytettävälle liitäntälle
LLC	(Logical Link Control) IEEE 802 -verkoissa eri verkkoprotokollien yhteistoiminnan mahdollistava osajärjestelmä
OFDM	(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) Signaalin koodausmenetelmä
MAC	(Media Access Control) IEEE 802 -verkoissa verkon varaamisen ja liikennöinnin hoitava osajärjestelmä
OSI	(Open Systems Interconnection) Tiedonsiirtoprotokollia kuvaava kerrosmalli
RTS/CTS	(Request To Send / Clear To Send) Kättelymenetelmä, jolla pyydetään lupa lähetykseen ja kuitataan pyyntö
SPI	(Serial Peripheral Interface) Nopea sarjaliikenneyhteys
U-NII	(Unlicensed National Information Infrastructure) Radiotaajuuskaista yli 5 GHz taajuuksilla, käytössä mm. 802.11a laitteilla
Wi-Fi	(The Standard For Wireless Fidelity) Wi-Fi Alliancen tavaramerkki, jota sen jäsenet käyttävät määritellyn laatutason symbolina. Käytetään usein tarkoittamaan IEEE 802.11 -standardia.
WiMAX	(Worldwide Interoperability Microwave Access) IEEE 802.16 -standardiin perustuva langaton laajakaistatekniikka
WLAN	(Wireless Local Area Network) Langaton lähiverkko
WPAN	(Wireless Personal Area Network) Langaton henkilökohtainen verkko
UART	(Universal Asynchronous Receiver Transmitter) Sarjaliikenneyhteys



## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kehittää Delfin Technologies Oy:lle langaton tiedonlähetyjärjestelmä akkukäyttöisen mittalaitteen mittaustiedon lähettämiseksi tietokoneelle tai muulle vastaavalle tiedonkeruulaitteistolle mittaustiedon myöhempää tarkastelua varten. Opinnäytetyö on tehty osana Lange-hanketta.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan WLAN-tekniikan soveltuvuutta langattoman mittalaitteen tiedonsiirtoon. Työssä myös toteutetaan prototyyppi, jolla voidaan havainnollistaa WLAN-moduulien käytännöllisyyttä langattoman mittalaitteen tiedonlähetyjärjestelmänä. Valmiin moduulin käyttö pelkän radiopiirin sijasta on huomattavasti yksinkertaisempaa, sillä moduuleissa on yleensä valmiiksi kehitetyt rajapinnat ja kirjastot moduulin ohjaamiseen. Moduulit ovat myös yleensä radio-osaltaan valmiiksi testattuja ja hyväksytyjä, joten moduulin sisältävän lopputuotteen saaminen markkinoille on huomattavasti helpompaa kuin pelkkää radiopiiriä käyttävän tuotteen.

Delfin Technologies Oy:n mittalaitteita käytetään pääasiassa kotihoidossa sekä erilaisissa lääketieteellisissä tutkimuksissa, joten teknisiltä tarpeiltaan lähettimen lähetystehon tulee olla riittävä huoneen sisäiseen lähetykseen. Mittaustiedon määrä mittausta kohden ei ole kovin suuri, joten lähettävän moduulin tiedonsiirtonopeudellakaan ei ole suurta merkitystä.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin ensin Lange-hankkeen muiden osapuolten yhteisten tarpeiden mukaisesti WLAN-tekniikkaa käyttäviin moduuleihin, mutta työn edetessä kyseiseen sovellukseen otettiin toiseksi tutkimusvaihtoehdoksi myös Bluetooth-tekniikka.

## 2 LANGE-HANKE

Lange-hankkeen koko nimi on ”Langattomien sensoreiden käyttö lääketieteellisessä multiparametrimonitoroinnissa”, ja se on Savonia-ammattikorkeakoulun, Itä-Suomen yliopiston, Kuopion yliopistollisen sairaalan, Mega-Elektroniikka Oy:n, Delfin Technologies Oy:n ja Hoxville Oy:n yhteistyössä toteuttama projekti, joka tutkii langattomien tekniikoiden käyttöä sensoriverkoissa. Lange on teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus Tekesin rahoittama hanke. Projektin pääasiallisena tavoitteena on kehittää IP-pohjainen aikasynkronoitu langaton mittausjärjestelmäpohja erilaisille langattomuutta vaativille akkukäyttöisille sovelluksille. Projektissa tutkitaan pääasiassa IEEE 802.11 -standardiin perustuvia WLAN-moduuleja ja niiden aikasynkronointia. Kyseinen tekniikka on valittu sovellusten vaatiman suuren siirrettävän datamäärän takia. [1]

Monissa tutkimussovelluksissa, esimerkiksi fysiologisissa tutkimuksissa, on tarpeellista mitata jatkuvaa mittatietoa usealta anturilta yhtä aikaa. Ihmisen fysiologian mittaaminen helpottuu ja monipuolistuu huomattavasti, mikäli mittalaite on langaton eikä potilaan tarvitse olla kiinnitettynä mittajohtimilla tiettyyn paikkaan. Usealta langattomalta anturilta mitatessa antureilta saatava mittatieto täytyy tahdistaa samanaikaiseksi, jotta mittaustulokset ovat ajallisesti oikein. [1]

Lange-hanke keskittyy pääasiassa WLAN-moduulien aikatahdistukseen ja hankkeen tarkoituksena on tuoda uusimman IP-pohjaisen sensoriverkkotekniikan tietotaito hankkeeseen osallistuville yrityksille sekä Savonia-ammattikorkeakoulun koulutukseen. Hankkeessa on tarkoitus toteuttaa yrityksille toimivia ratkaisuja prototyyppeinä ja menetelminä. [1]

Delfin Technologies Oy on Kuopiossa vuonna 1998 perustettu yritys, joka kehittää ja myy hyvinvointitekniikan laitteita, jotka mittaavat ihon ominaisuuksia sekä eri materiaalien ja aineiden vaikutuksia ihoon. Yrityksen tuotteita käytetään muun muassa ihon tutkimuksissa, testauslaboratorioissa, kosmeettisessa ja henkilökohtaisessa hoidossa, lääketieteessä sekä kemianteollisuudessa. [2]

Delfin Technologies Oy on kiinnostunut hankkeen osalta langattoman laiteliitännän kehittämisessä eikä aikatahdistuksessa kuten hankkeen muut osapuolet.

### 3 WLAN-TEKNIikka

Perinteistä kaapelein toteutettua lähiverkkoa täydennetään nykyään usein lisäämällä verkon osaksi langattomat yhteydet mahdollistavia tukiasemia. Langattomia tekniikoita käytettäessä käyttäjä vapautuu kaapeloinnin aiheuttamista rajoituksista. Sekä langallinen että langaton lähiverkko toimivat käyttäjän näkökulmasta samalla tavalla standardien yhteensopivuuksien ansiosta. [3]

Langattomalla lähiverkolla tarkoitetaan nykyisin pääasiassa langallisen IEEE 802.3 -standardin mukaisen Ethernet-lähiverkon laajennusta IEEE 802.11 -standardin ja sen täydennysten mukaisilla protokollilla. Yleensä langattomasta lähiverkosta käytetään nimitystä WLAN (Wireless Local Area Network) tai Wi-Fi. [4]

IEEE 802.11 -standardin lisäksi on muitakin standardeja langattomille verkoille. Näitä ovat esimerkiksi IEEE 802.16 eli WiMAX, jota käytetään lähinnä pitempien matkojen langattomiin laajakaistayhteyksiin, erilaiset mobiilidatayhteydet, kuten GPRS ja EDGE, sekä Bluetooth. Näistä kuitenkin WLAN on tietokoneiden verkkoyhteyksiin sopivin ratkaisu yleisyyden, monipuolisuuden sekä edullisen hintansa vuoksi. [3]

#### 3.1 Kerrosmalli

IEEE 802 -standardiperhe käsittää lähi- ja kaupunkiverkot. Sen määrittelemät palvelut ja protokollat liittyvät OSI-kerrosmallin kahdelle alimmalle kerrokselle, fyysiselle ja siirtoyhteyskerrokselle. Siirtoyhteyskerroksesta käytetään myös nimitystä siirtokerros. IEEE 802.11-standardin eri laajennukset vaihtelevat mm. käytettäviltä taajuuksiltaan ja modulointitavoiltaan, jotka määritellään edellä mainituilla kerroksilla. [5]

##### 3.1.1 Fyysinen kerros

IEEE 802.11 -standardin fyysinen kerros määrittelee pääasiassa datan koodauksen ja modulointitavan eli sen, kuinka signaali, joka vastaa nollaa tai ykköstä siirretään lähettäjältä vastaanottajalle. Datan tehokkaammalla koodauksella voidaan saavuttaa suurempia nopeuksia, mutta se vaatii vastaavasti hienostuneempaa tekniikkaa datan käsittelyyn. IEEE 802.11 -standardien eri modulointitavoille on yhteistä, että yhden varsinaisen databitin lähettämiseen käytetään useampaa bittiä, jotta saavutetaan

tarpeeksi häiriötä sietävä yhteys. Yleisimpiä WLAN-laitteiden modulointitekniikoita on listattuna alla. [5]

- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
  - FHSS eli taajuushyppely perustuu lähetykseen yhdellä kantotaajuudella, jota vaihdellaan jatkuvasti ennalta määritellyn algoritmin mukaisesti näennäisen satunnaisesti. Lähetin ja vastaanotin synkronoivat taajuuksien vaihtelut beacon-viestien avulla. Taajuusvaihtelu tapahtuu ennalta määrätyn väliajoin. FHSS ei ole enää yleisesti käytössä uusimmissa WLAN-tekniikoissa.
- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
  - DSSS eli suorasekventointia käytettäessä jokaista lähetettyä databittiä kohden lähetetään sarja näennäisesti satunnaisia bittejä. Jokainen yksöstä vastaava databitti koodataan 802.11-määrittelyssä 11-bittiseksi jonoksi ja jokainen nolla tämän jonon komplementiksi. DSSS on ollut yleisesti käytössä vuosina 1999 - 2005.
- Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)
  - OFDM-tekniikka perustuu useiden signaalien lähettämiseen samaan aikaan eri taajuuksilla. Nykyisin käytössä olevat menetelmät perustuvat diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen. OFDM on yleisin vuodesta 2005 käytössä ollut modulaatiotekniikka ja sitä on kehitetty edelleen tehokkaammaksi.

Fyysinen kerros määrittää myös käytettävät taajuudet. Taajuuskaistoja ja kanavointia käsitellään tarkemmin luvussa 3.2. [5]

### 3.1.2 Siirtokerros

IEEE 802.11 -standardien siirtokerros koostuu kahdesta alikerroksesta. Nämä ovat Media Access Control (MAC) -kerros ja Logical Link Control (LLC) -kerros. LLC-kerros on sama kaikilla IEEE 802 -verkoilla. Se mahdollistaa eri verkkoprotokollien, kuten IP ja IPX, toiminnan samassa siirtomediassa. MAC-kerros on määritelty uudelleen IEEE 802.11 -standardissa. [5]

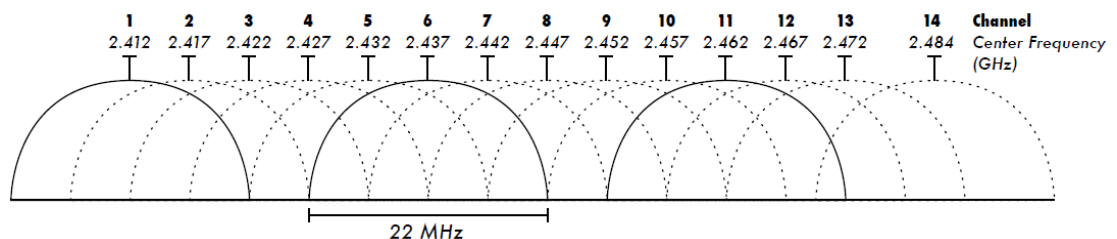
MAC-kerros määrittelee laitteiden osoitteiden käytön sekä sen kuinka laitteet saavat lähetyksensä kanavalle. 802.3-standardin verkot eli langalliset Ethernet-lähiverkot käyttävät Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection (CSMA/CD) -vuoronvarustekniikkaa, joka perustuu törmäyksien havaitsemiseen jälkepäin siirtotitellä. 802.11-standardissa edellä mainittu tekniikka on korvattu Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA) -menetelmällä. CSMA/CD-tekniikkaa vastaavasti asema kuuntelee ennen lähetystä ja aloittaa lähettämisen vain vapaaseen kanavaan. 802.11-verkkojen asemat eivät voi kuunnella ja lähettää samanaikaisesti, joten asema ei lähettäessään huomaa törmäystä. CSMA/CA-

menetelmällä törmäykset pyritään välttämään kokonaan niiden havaitsemisen sijaan. Usein käytetään apuna RTS/CTS-kättelyä (Request to Send / Clear to Send) ja viestin kuittaamista ACK-sanomalla. Näitä viestejä käyttäen lähettäjä pyytää ensin luvan lähettää lähettämällä RTS-sanoman, johon kohde vastaa CTS-sanomalla. Tämän jälkeen lähetetään varsinainen datapaketti, jonka vastaanottaja vielä kuittaa ACK-sanomalla. Mikäli kuittausta ei tule, tietää lähettäjä yrittää uudelleen. Nämä kättelyviestit lisäävät siirrettävän tiedon määrää, joten CSMA/CA-menetelmällä ei päästä yhtä suuriin lähetyksnopeuksiin kuin CSMA/CD-menetelmää käyttäen. [4]

### 3.2 Taajuusalueet ja kanavointi

Yleisin 802.11-standardin langattomissa verkoissa käytetty taajuusalue on 2,4 GHz ISM-taajuuskaista. Tarkkaan ottaen käytettävä alue on 2400 - 2483,5 MHz. ISM-taajuuskaista on alun perin teollisuuden, tieteen ja lääketieteen käyttöön tarkoitettu kaista, joka on vapaa käytettäväksi ilman lisensointia. ISM-taajuuskaistaan kuuluu myös muita taajuusalueita 2,4 GHz alueen lisäksi, mutta ne eivät ole käytössä 802.11-standardissa. Toinen käytetty alue on U-NII -taajuusalue väleillä 5150 - 5350 MHz ja 5725 - 5825 MHz. [5]

Taajuusalueet jaetaan 802.11-standardissa eri kanaville. 2,4 GHz -taajuusalue jaetaan yleensä 13 kanavaan, jotka ovat leveydeltään 22 MHz ja joiden keskitaajuuksien ero on 5 MHz. Kanavan 1 keskitaajuus on 2412 MHz ja kanavan 13 puolestaan 2472 MHz. Käytettävissä olevat taajuudet ja kanavamäärät riippuvat eri maiden välisten säännösten mukaan. Euroopassa on pääasiassa käytössä kaikki 13 kanavaa, kun taas Japani lisää vielä yhden lisäkanavan. Taajuuksien jako kanaviin näkyy alla olevassa kuvassa 1. Kuten kuvasta nähdään, kanavat ovat limittäin niiden keskitaajuuksien pienen eron vuoksi ja vain kolme kanavaa on täysin erillään toisistaan. Myös 5 GHz U-NII -taajuusalueet jaetaan vastaavasti eri kanaville. [6]



KUVA 1. Kanavien jako 2,4 GHz ISM-taajuusalueella. [3]

Lisensioimaton 2,4 GHz -taajuuskaista on nykyään melko ruuhkainen johtuen WLAN-laitteiden suuresta määrästä sekä muista laitteista jotka toimivat samalla taajuudella. Muita kyseisellä taajuusalueella toimivia laitteita ovat mm. mikroaaltouunit ja Bluetooth-laitteet. Taajuusalueen ruuhkaisuus lisää ylimääräistä kohinaa ja voi aiheuttaa siirtonopeuksien alenemista ja ongelmia yhteyksissä. 5 GHz -taajuusalue on vähemmän käytetty mutta suuremman taajuutensa vuoksi signaali vaimenee huomattavasti helpommin kohdatessaan esteitä. [5]

### 3.3 IEEE 802.11 -standardit

Langattoman lähiverkon standardi IEEE 802.11 hyväksyttiin vuonna 1997. Se määritteli perusnopeudet 1 ja 2 Mb/s ja käytettäväksi siirtotien varausmenetelmäksi CSMA/CA:n. Fyysisen tason toteutukseksi standardi määritteli 2,4 GHz radiotaajuuden sekä infrapunaa, joka on osa standardia vielä nykyäänkin, vaikka sitä käyttäviä toteutuksia ei olekaan. IEEE 802.11 -standardiin on tehty useita lisäyksiä, joilla on parannettu mm. siirtonopeuksia. [5]

Vuonna 1999 standardiin tehtiin lisäys IEEE 802.11b. Se käyttää samaa siirtotien varausmenetelmää kuin aikaisempikin versio. Modulaatiotekniikkana käytetään alkuperäisessäkin standardissa määriteltyä DSSS:ia. 802.11b-standardin suurin teoreettinen siirtonopeus on 11 Mb/s. Mikäli lähetyksessä ilmenee pakettihäviötä, voidaan siirtonopeutta hidastaa ensin 5,5 Mb/s:iin, sitten 2 Mb/s:iin ja lopulta 1 Mb/s:iin. [5]

IEEE 802.11a käyttää aikaisemmista menetelmistä poiketen taajuuskaistana 5 GHz:n U-NII -aluetta. Modulointitekniikkana on OFDM, joka mahdollistaa 54 Mb/s siirtonopeuden. Myös 802.11a osaa laskea siirtonopeutta pakettihäviön ilmetessä. 802.11a ei ole yhteensopiva 802.11b:n kanssa, koska ne käyttävät eri taajuusalueita sekä modulointitekniikoita. 802.11a-standardi ei ole yleistynyt aivan yhtä paljon kuin 802.11b, osasyyn ollessa tekniikoiden yhteensopimattomuus. [5]

Vuonna 2003 tehty lisäys IEEE 802.11g on laajalti käytössä oleva WLAN-standardi. Se käyttää samaa 2,4 GHz taajuuskaistaa kuin 802.11b ja modulaatiotekniikkana OFDM:iä. Tämä mahdollistaa 54 Mb/s siirtonopeuden. 802.11g on taaksepäin yhteensopiva 802.11b:n kanssa ja se osaa tarvittaessa vaihtaa modulaatiotekniikkaa pudottaessaan siirtonopeutta yhteensopivuusalueelle. Yksi 802.11g:n yleisyyden syistä onkin yhteensopivuus aiemman 802.11b-standardin kanssa. [5]

Viimeisin lisäys WLAN-tekniikkaan on IEEE 802.11n, joka tekee muutoksia lähes joka osa-alueelle. Suurimpana muutoksena standardissa on usean lähettimen ja vastaanottimen käyttö samassa laitteessa käyttäen Multiple In Multiple Out (MIMO) -tekniikkaa. Usealla antennilla saadaan lisättyä siirtonopeutta ja parannettua signaalin laatua. 802.11n toimii sekä 2,4 GHz että 5 GHz taajuuskaistoilla. Modulaatiotekniikkana on paranneltu OFDM, joka mahdollistaa 65 Mb/s siirtonopeuden yksittäisellä 20 MHz kanavalla 802.11g-standardin 54 Mb/s nopeuden sijaan. 802.11n mahdollistaa kahden vierekkäisen kanavan yhdistämisen yhdeksi 40 MHz kanavaksi. Edellä mainittuja tekniikoita käyttäen saadaan lähetettyä yhtä aikaa usealla antennilla hyvissä olosuhteissa jopa 300 Mb/s tai enemmänkin. 802.11n-standardi on myös taaksepäin yhteensopiva aikaisempien 802.11a/b/g-standardien kanssa. [7]

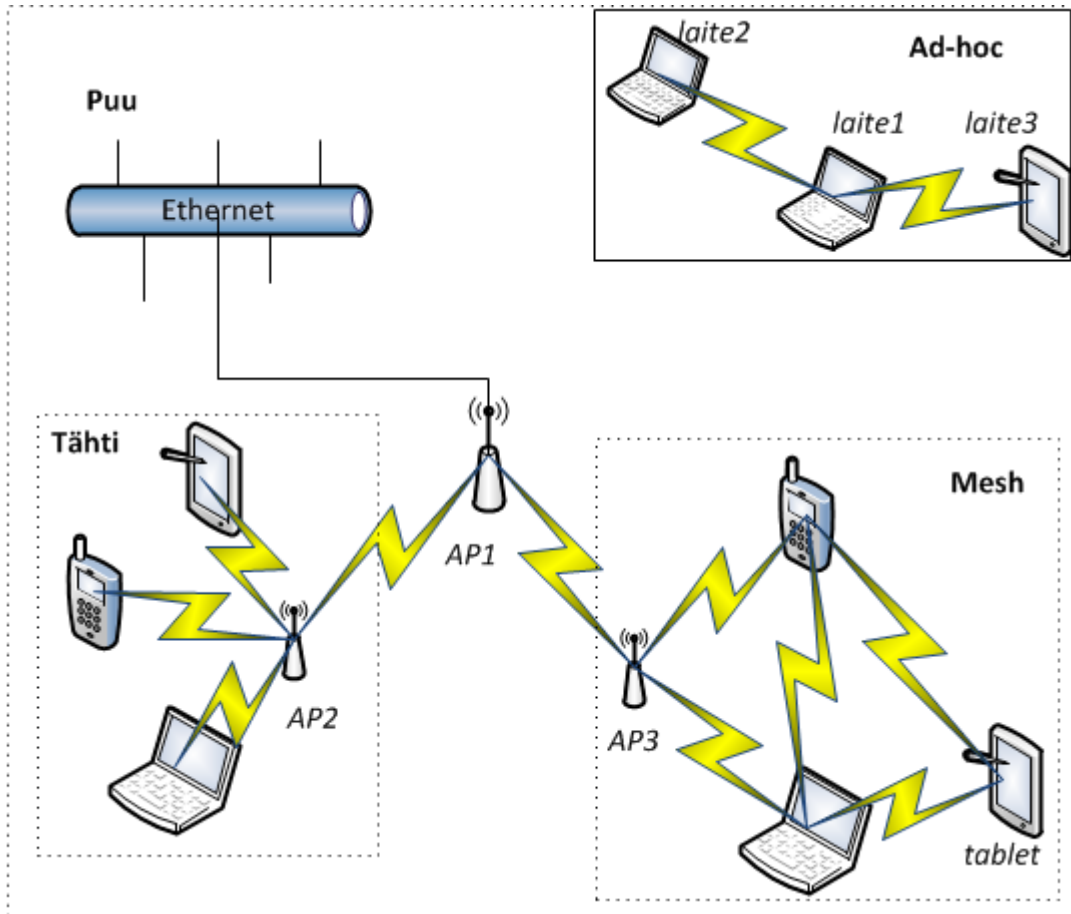
### 3.4 Verkkojen rakenteita

Langallisen verkon fyysinen rakenne, eli topologia on melko helposti määriteltävissä verkkoon liitettyjen laitteiden ja muiden verkkokomponenttien fyysisen sijainnin mukaan. Verkon looginen topologia voi kuitenkin olla fyysisestä poikkeava. Langattomissa verkoissa topologia määritellään loogisella tasolla johtuen langattomuuden luonteesta. Yleisimpiä langattoman verkon loogisia rakenteita ovat tähti, puu, ad-hoc ja mesh. [8]

Tähtirakenteessa kaikki verkon laitteet ovat yhteydessä langattomaan tukiasemaan, access pointiin (AP), joka on verkon "keskipisteessä" ja laitteet keskustelevat vain tukiaseman kanssa. Tämä tukiasema on yleensä kytkettynä langallisesti muuhun verkkoon ja toimii yhdyskäytävänä esimerkiksi internetiin langattomille laitteille. Puurakenteessa verkon laitteet jaetaan hierarkkiseen järjestykseen. Mesh-rakenteessa verkon laitteet ovat suoraan yhteydessä toisiinsa ja ne voivat toimia välittäjinä verkon muille laitteille. Laitteiden välisistä ilman tukiasemaa muodostetuista yhteyksistä käytetään nimitystä ad-hoc kun laitteet muodostavat suoran yhteyden toisen kanssa. Ad-hoc-yhteyksissä laitteet eivät välitä viestejä eteenpäin mesh-verkon tapaan. WLAN-verkkojen toteutus on monesti käytännössä sekoitus useista eri topologioista. [8]

Kuvassa 2 on esitettyä eräs mahdollinen verkon toteutus jossa eri topologioita on yhdistelty. Verkko sisältää yhden tähtitopologian, jossa laitteet ovat yhteydessä tukiaseman AP2 kautta. Tukiasema on osa puurakennetta ja hoitaa yhteyden langattoman tukiaseman AP1 kautta langalliseen Ethernetiin ja sieltä esimerkiksi internetiin.

Tukiasema AP3 muodostaa laitteiden kanssa mesh-verkon, jossa laitteet ovat myös suorassa yhteydessä toisiinsa. Mesh-verkon tablet-laite on tukiaseman kantomatkan ulkopuolella mutta muodostaa kuitenkin yhteyden verkkoon muiden laitteiden välityksellä. Ad-hoc-verkossa laitteet muodostavat suoran yhteyden laitteiden välillä.



KUVA 2. WLAN-verkon eri topologioita yhdistettynä



## 4 BLUETOOTH

Bluetooth on lyhyen kantaman langaton tekniikka. Lyhyen kantaman verkosta käytetään nimitystä langaton henkilökohtainen verkko, Wireless Personal Area Network (WPAN). Bluetooth on alun perin tarkoitettu korvaamaan kaapeliyhteydet matkapuhelinten, tietokoneiden ja muiden oheislaitteiden välillä. Nykyään Bluetoothia käytetään useissa eri sovelluskohteissa langattoman tiedonsiirron välineenä. Bluetooth-tekniikan etuja ovat muun muassa pieni virrankulutus sekä edullinen hinta. Bluetoothin kehitystä hallinnoi Bluetooth Special Interest Group (SIG). Se on yli kymmenen tuhannen jäsenyrityksen muodostama yhdistys, jonka tehtävänä on muun muassa julkaista Bluetooth-määrittelyksiä. [9]

Bluetooth-verkko koostuu korkeintaan kahdeksasta Bluetooth-laitteesta, joiden muodostamaa ad-hoc-verkkoa kutsutaan picoverkoksi. Picoverkossa on aina yksi master-laite ja yhdestä seitsemään slave-laitetta. Yksittäinen slave-laite voi kuulua useampaan picoverkkoon, jolloin se toimii välittäjänä verkkojen välillä ja mahdollistaa eri picoverkoissa sijaitsevien laitteiden välisen kommunikoinnin. Picoverkot muodostavat yhdessä laajemman verkon, jota kutsutaan nimellä scatternet. Verkon luonti ja ylläpito tapahtuu dynaamisesti ja automaattisesti laitteiden liikkuaessa verkon kuuluvuusalueella. [10]

IEEE 802.15.1 -standardissa on määritelty Bluetoothin fyysinen ja siirtokerros. Bluetooth SIG vastaa ylempien tason kerroksien määrittelystä. [8]

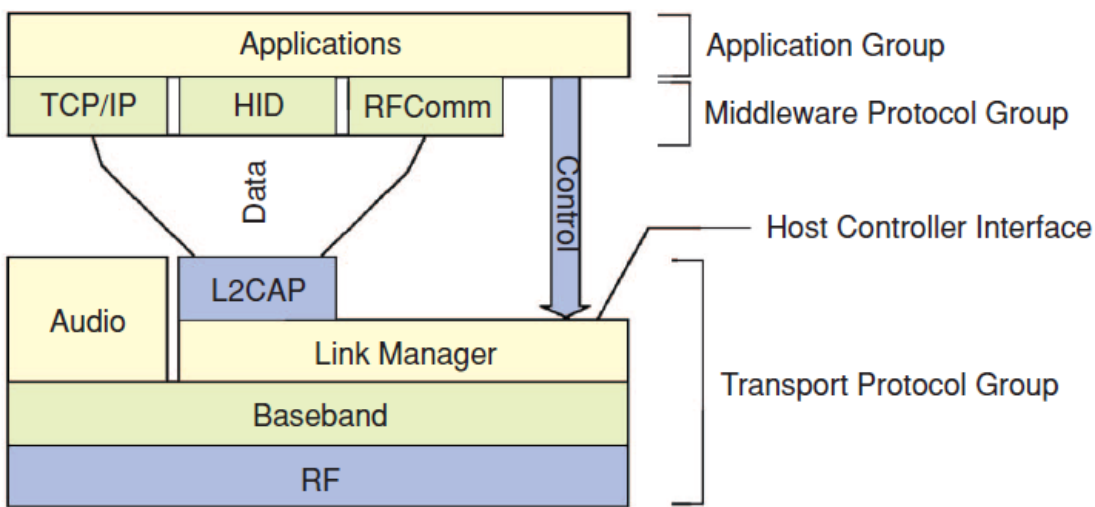
### 4.1 Kerrosmalli

Bluetoothin protokollapino voidaan jakaa kolmeen loogiseen ryhmään, jotka ovat kuljetusprotokollaryhmä (Transport Protocol Group), väliohjelmistoprotokollaryhmä (Middleware Protocol Group) ja sovellusryhmä (Application Group) (kuva 3). Kuljetusprotokollaryhmä vastaa Bluetoothin määrittelyssä OSI-mallin fyysistä (PHY) ja siirtokerrosta (MAC). Alla on lueteltu kuljetusprotokollaryhmän kerrokset ja niiden tehtävät. [11]

- Radiokerros (RF). Lähetin-vastaanottimen toiminta.
- Kantataajuuskerros (Baseband). Laitteiden välisten yhteyksien hallinta ja master/slave-roolien jako.
- Yhteyden hallintakerros (Link Manager). Kaistan jako laitteiden ja sovellusten välillä, salaus ja virran käytön hallinta.

- L2CAP-kerros (Logical Link Control and Adaptation). Rajapinta ylemmän tason protokollien ja alemman tason siirtokerroksien kanssa. Mahdollistaa myös eri protokollien ja sovellusten toiminnan yhtäaikaisesti (esimerkiksi TCP/IP ja RFComm).
- Host Controller Interface (HCI). Standardoitu rajapinta, joka mahdollistaa ylemmän tason sovellusten pääsyn pinon alemmille tasoille. HCI-rajapinnan toteutus ei ole välttämätön.

Väliohjelmistoprotokollaryhmään kuuluu protokollia, jotka mahdollistavat sovellusten toiminnan Bluetoothin välityksellä. Näitä protokollia ovat esimerkiksi TCP/IP ja RFComm, joka emuloi RS-232-sarjaliikenneyhteyttä. Sovellusryhmä koostuu varsinaisista Bluetooth-yhteyttä käyttävistä sovelluksista. [11]



KUVA 3. Bluetoothin protokollapino [11]

## 4.2 Tekniikka

Bluetooth SIG julkaisi vuonna 2010 Bluetoothista version 4.0, jonka tärkeimpänä lisäyksenä oli Bluetooth Low Energy (LE) -ohjain. Se on vaihtoehtoinen toteutusratkaisu aikaisemmalle Basic Rate (BR) -ohjaimelle. BR-tekniikka sisältää myös Enhanced Data Rate (EDR) -ohjaimen, ja yhdessä näitä kutsutaan nimellä BR/EDR-ohjain. Bluetooth-ohjaimet hoitavat laitteiden havaitsemisen, yhteyden muodostamisen ja ylläpidon. Bluetooth-piirit voivat sisältää molemmat ohjaimet, jolloin laitteiden välinen yhteensopivuus on taattu useimmissa tapauksissa. Bluetooth on määritelty kerrosmaisesti kuten 802.11-standardin WLAN. [12]

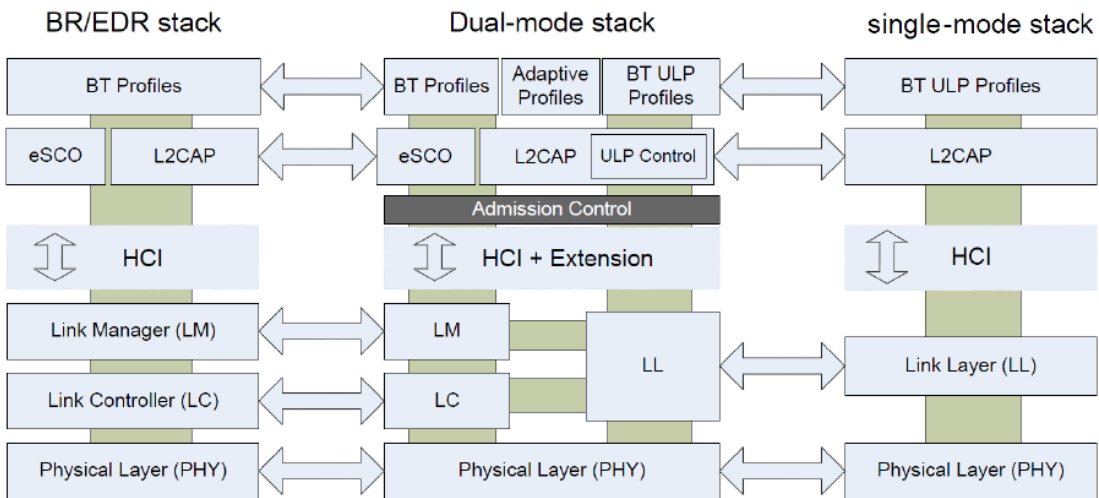
Bluetooth Basic Rate / Enhanced Data Rate (BR/EDR) käyttää samaa lisensoimatonta 2,4 GHz ISM-taajuuskaistaa kuin 802.11-standardin WLAN. BR/EDR käyttää

FHSS-tekniikkaa jakaen taajuuskaistan 79 kanavaan, jotka ovat 1 MHz toisista erillään. Bluetooth-verkon master-laite määrittää muille verkon laitteille synkronoitavan kellon sekä taajuushyppyjen järjestyksen. Laitteet osaavat poistaa hyppykuvioistaan taajuuksia jotka ovat muiden häiritsevien laitteiden käytössä parantaen yhteyden laatua. Tätä mukautuvaa taajuushyppelytekniikkaa kutsutaan nimellä Adaptive Frequency-Hopping spread spectrum (AFH). Bluetooth mahdollistaa kaksisuuntaisen liikenteen käyttäen aikajakotekniikkaa (Time-Division Duplex, TDD). BR/EDR-tekniikan tukemat nopeudet ovat 1 (BR), 2 ja 3 Mb/s (EDR). [12]

Bluetooth versio 3.0 lisäsi mahdollisuuden toteuttaa Bluetooth-laitteeseen toissijaisen ohjaimen, joka mahdollistaa 802.11-standardin WLAN-linkin käytön Bluetooth-laitteen tiedonsiirtokanavana. Tätä tekniikkaa kutsutaan vaihtoehtoiseksi MAC/PHY (Alternate MAC/PHY, AMP) -ohjaimeksi. AMP-ohjainta käytettäessä Bluetooth hoitaa BR/EDR-ohjaimella yhteyden hallinnan, jonka jälkeen AMP-ohjain mahdollistaa jopa 24 Mb/s siirtonopeuden. AMP-ohjaimen sisältävistä laitteista käytetään yleensä nimitystä Bluetooth 3.0+HS (High Speed). [12]

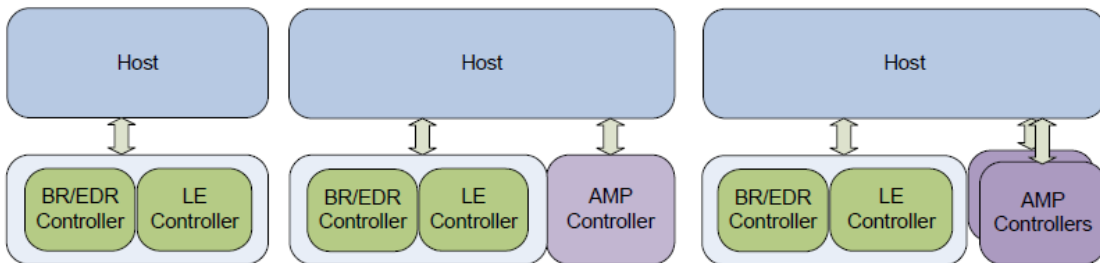
Bluetooth Low Energy (LE) on uusi lisäys Bluetoothiin version 4.0 myötä. LE-tekniikka on kehitetty suurilta osin uudestaan mahdollisimman vähävirtaiseksi. Tekniikka käyttää paljon samoja osia ja ratkaisuja kuin perinteinen BR/EDR-tekniikka, mutta poikkeaa kuitenkin ratkaisevin osin, joten tekniikat eivät ole keskenään yhteensopivia. LE-ohjain jakaa ISM-taajuuskaistan 40 kanavaan jotka ovat 2 MHz leveitä. Kanavista kolme on advertise-kanavia, joilla hoidetaan laitteiden yhteyksien hallinta, ja 37 data-kanavaa, joilla varsinainen tiedonsiirto tapahtuu. Data-kanavilla käytetään perinteisen Bluetoothin tapaan AFH-taajuushyppelyä. Ratkaisu vähentää yhdessä lyhyempien pakettien ja yksinkertaisemman protokollan avulla huomattavasti virrankulutusta. [13]

Bluetooth Low Energyn yhteensopivuus perinteisen Bluetoothin kanssa taataan dual-mode-laitteilla. Ne toteuttavat BR/EDR-ohjaimen sekä LE-ohjaimen ja ovat siten yhteensopivia molempien tekniikoiden kanssa (kuva 4). Single-mode-laitteet toteuttavat puolestaan pelkän LE-ohjaimen ja ovat yhteensopivia vain toisten LE-tekniikkaa käyttävien laitteiden kanssa. Single-mode-laitteet ovat esimerkiksi yksinkertaisia antureita, jotka kuluttavat vain hyvin vähän virtaa. Dual-mode-laitteet ovat esimerkiksi kännyköitä, joilla voidaan ottaa yhteys LE-tekniikan toteuttaviin laitteisiin kuten myös perinteistä Bluetooth-tekniikkaa käyttäviin laitteisiin. Single-mode-tekniikan avulla voidaan toteuttaa vähävirtaisia pienillä pattereilla toimivia pitkäikäisiä lisälaitteita ja mittalaitteita. [13]



KUVA 4. Bluetooth BR/EDR, single-mode ja dual-mode -ohjainten protokollapino [13]

Bluetooth-järjestelmä voi toteuttaa myös kaikki edellä mainitut ohjaimet, jolloin tuettu-  
na on kaikkien eri ohjainten ominaisuudet (kuva 5). [12]



KUVA 5. Bluetooth-järjestelmän ohjainten yhdistelmät yhdistetyllä ensisijaisella oh-  
jaimella [12]

Bluetooth BR/EDR -ohjaimen ja Bluetooth Low Energy -ohjaimen välisiä eroja on  
listattu taulukkoon 1.

TAULUKKO 1. Bluetooth BR/EDR -ohjaimen ja Bluetooth Low Energy -ohjaimen väliset erot. [14]

	<b>Bluetooth BR/EDR</b>	<b>Bluetooth Low Energy</b>
<b>Käytettävä taajuus</b>	2,4 GHz	2,4 GHz
<b>Kantama</b>	10-100m	10-100m
<b>Symbolinen nopeus</b>	1 - 3 Mb/s (AMP-ohjaimella 24 Mb/s)	1 Mb/s
<b>Todellinen throughput</b>	0,1 - 2,1 Mb/s (AMP-ohjaimella suurempi)	305 kb/s
<b>Noodeja / aktiivisia slaveja</b>	7	Rajaton
<b>Suojaus</b>	56 - 128 bittinen	128-bittinen AES
<b>Latensi yhdistämättömästä tilasta lähetykseen</b>	100+ ms	< 6 ms
<b>Äänen lähetys</b>	Kyllä	Ei
<b>Verkkotopologiat</b>	Point-to-point, scatternet	Point-to-point, tähti
<b>Virrankulutus</b>	1 (vertailuluku)	0,01 - 0,5 (käytöstä riippuen)
<b>Pääasialliset käyttökohteet</b>	Matkapuhelimet, kuulokkeet, stereo-audio, autoteollisuus, PC:t jne	Matkapuhelimet, pelaaminen, PC:t, urheilu & fitness, lääketieteellinen, autoteollisuus, teollisuus, automaatio, kodin elektroniikka jne

#### 4.3 Bluetooth-profiilit

Bluetooth-sovellusten välinen yhteensopivuus hoidetaan Bluetooth-profiileilla. Profiileissa määritellään profiilin tarvitsemat funktiot ja toiminnallisuudet jokaisesta Bluetooth-järjestelmän kerroksesta. Kun kaksi Bluetooth-järjestelmää toteuttaa tietyn profiilin vaatimat toiminnallisuudet, niiden välinen toimivuus on taattu. Eri profiileja tukevilla Bluetooth valmistajat voivat tehdä eri tarkoituksiin räätälöityjä Bluetooth-tuotteita. Bluetooth SIG on määritellyt useita profiileja eri käyttötarkoituksia varten. [12]

Jokainen Bluetooth-järjestelmä toteuttaa Generic Access Profile (GAP) -profiilin, joka määrittää järjestelmän perustarpeet. BR/EDR-ohjaimelle GAP sisältää radion, kantataajuusosan, link managerin, L2CAP:n ja palvelun etsintätoiminnot. Tällä tavoin Bluetooth-järjestelmän eri tasot liitetään yhteen. Taulukkoon 2 on listattu Bluetooth-profiileja eri käyttötarkoituksiin. Bluetooth LE -tekniikan ainut tuettu profiili on Generic Attribute Profile (GATT). GATT on yksinkertainen attribuuttipohjainen profiili ja sopii sen takia erittäin hyvin yksinkertaisiin vähävirtaisiin sovelluksiin. [12]

## TAULUKKO 2. Bluetooth profiilit. [15]

<b>Profiili</b>	<b>Koko nimi</b>
A2DP	Advanced Audio Distribution Profile
AVRCP	A/V Remote Control Profile
BIP	Basic Imaging Profile
BPP	Basic Printing Profile
CTP	Cordless Telephony Profile
DI	Device ID Profile
DUN	Dial-Up Networking Profile
FAX	Fax Profile
FTP	File Transfer Profile
GAVDP	Generic A/V Distribution Profile
GOEP	Generic Object Exchange Profile
HCRP	Hardcopy Cable Replacement Profile
HDP	Health Device Profile
HFP	Hands-Free Profile
HSP	Headset Profile
HID	Human Interface Device Profile
ICP	Intercom Profile
MAP	Message Access Profile
OPP	Object Push Profile
PAN	Personal Area Network Profile
PBAP	Phone Book Access Profile
SAP	SIM Access Profile
SDAP	Service Discovery Application Profile
SPP	Serial Port Profile
SYNCH	Synchronization Profile
VDP	Video Distribution Profile

## 5 WLAN- JA BLUETOOTH-TEKNIIKAN VERTAILUA

WLAN ja Bluetooth ovat molemmat langattomia tekniikoita, jotka ovat kuitenkin kehitetty eri käyttötarkoituksiin.

IEEE 802.11 -standardin WLAN on pääasiassa kehitetty käytettäväksi tietokoneiden tiedonsiirtoon korvaamaan langallinen Ethernet-lähiverkkoyhteys. Rajoitteena akkukäyttöisten laitteiden WLAN-käytössä on ollut WLAN-tekniikan suuri virrankulutus. Nykyiset WLAN-piirit ovat kuitenkin jo huomattavasti vähävirtaisempia ja niiden virransäästötilat kehittyneitä, joten niiden käyttö akkukäyttöisissä sovelluksissa ja jopa sensoriverkoissa alkaa olla mahdollista.

Bluetooth on huomattavasti WLAN-tekniikkaa vähävirtaisempi vaihtoehto, joten sen käyttö akkukäyttöisissä sovelluksissa on perustellumpaa. Bluetoothin tiedonsiirtonopeus on kuitenkin huomattavasti WLAN:ia pienempi, vaikka käytössä olisikin Bluetoothin 3.0+HS versio. Bluetoothin käyttö on yleistä erilaisten lisälaitteiden liitännäin joissa tiedonsiirron nopeuden ei tarvitse olla suuri. Bluetooth-laitteiden käyttöönotto on huomattavasti WLAN-laitteita helpompaa, sillä yksinkertaisimmillaan esimerkiksi Bluetooth hands-free-laitteen liittäminen matkapuhelimen kanssa onnistuu muutamalla painikkeen painalluksella, kun taas WLAN-tekniikkaa käytettäessä joudutaan mahdollisesti määrittämään laitteiden IP-osoitteita sekä verkon muita ominaisuuksia.

## 6 GAINSPAN CORPORATIONIN WLAN-MODUULIT

Useilla valmistajilla on valikoimissaan erilaisia Wi-Fi-piirejä ja -moduuleja, joilla voi lisätä sulautettuihin laitteisiin WLAN-yhteyden. Valmistajien tuotteiden välillä on jonkin verran eroja moduulien ja piirien käytössä, ominaisuuksissa ja mahdollisuuksissa kehittää omaa koodia niille. Tässä luvussa käsitellään GainSpan Corporationin GS1011M-moduuleita. Pelkkien piirien sijasta keskitytään moduuleihin, joissa piirin ympärille on tehty tarvittavat liitännät ja kytkennät helppokäyttöisyyden lisäämiseksi. Moduulit ovat myös valmiiksi testattuja ja hyväksytyjä radio-osansa puolesta, joten niitä käyttämällä voi säästää huomattavasti aikaa, vaivaa ja rahaa mikäli yrityksellä ei ole resursseja radiotekniikan suunnitteluun.

### 6.1 Yritys

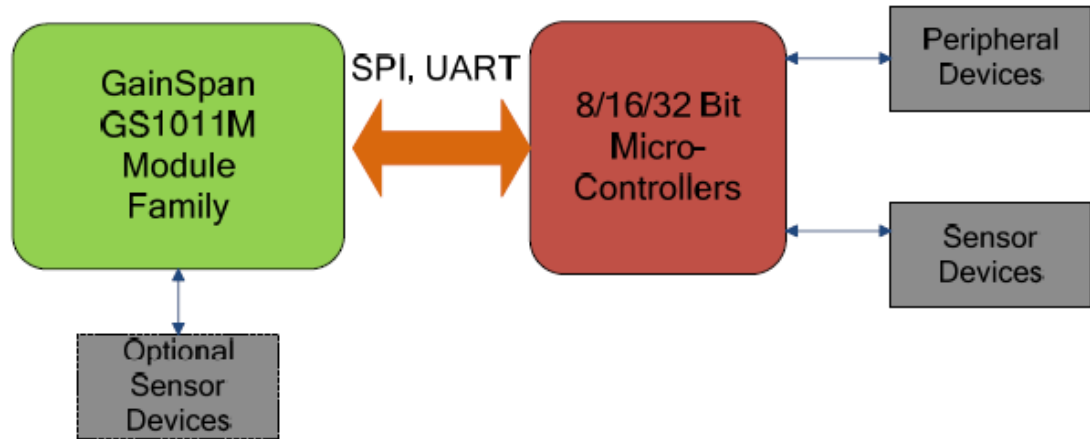
GainSpan Corporation on vuonna 2006 perustettu, San Josessa, Californiassa, päämajaansa pitävä vähävirtaisia Wi-Fi-puolijohdeita suunnitteleva yritys. Yritys on keskittynyt vähävirtaisten Wi-Fi-piirien ja -moduulien suunnitteluun. [16]

GainSpanin Wi-Fi-piirien erikoisuutena on niiden arkkitehtuuri, jossa piirin radio-osa ja sovellusosa on jaettu kahdelle eri ARM-suorittimelle. Wi-Fi-palvelut on siirretty pääsuorittimelta omalle verkkotoimintoihin keskittyneelle suorittimelle. Tällä ratkaisulla saadaan langattoman verkon tarvitsema suoritintehon käyttö pois itse sovellussuorittimelta. Etuna tässä on parempi virran käytön hallinta, sillä Wi-Fi-suoritin voi keskittyä langattoman yhteyden ylläpitoon eikä sovellussuorittimen tarvitse olla välttämättä näinä aikoina päällä ollenkaan. GainSpanilla on heidän omaa GS1011-piiriään käyttäviä moduuleja, mutta he myyvät myös pelkkää piiriä. Useat valmistajat käyttävätkin GainSpanin GS1011-piirejä. [16]

### 6.2 GS1011M-moduulit

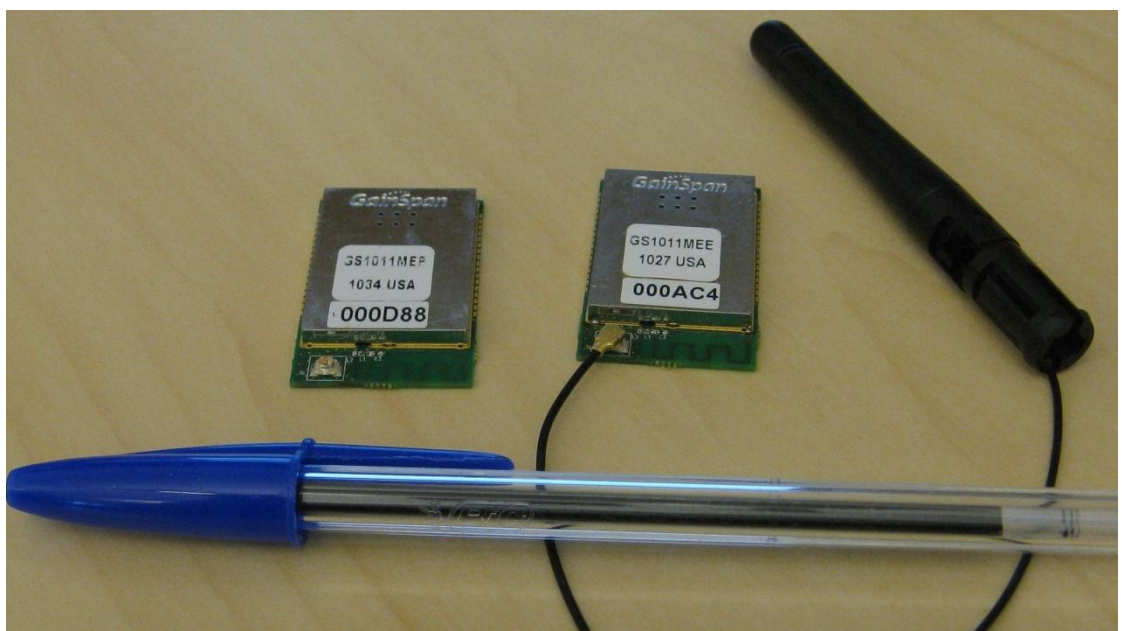
GainSpan GS1011M -moduulit ovat sertifioituja moduuleja, jotka mahdollistavat Wi-Fi-tuen lisäämisen laitteisiin. Ne sisältävät yrityksen oman GS1011-piirin. Moduulit tarjoavat useita liitántärajapintoja, joilla ne voidaan liittää mihin tahansa 8-, 16- tai 32-bittisiä mikrokontrollereita käyttäviin sulautettuihin järjestelmiin (kuva 6). GS1011M-perheen moduulit ovat valmiiksi testattuja ja sertifioituja, mikä säästää huomattavasti aikaa ja rahaa lopputuotteen markkinoille saamisessa. [17]





KUVA 6. GS1011M-moduulia käyttävän sovelluksen lohkokaavio [17]

GS1011M-moduuleita on neljää eri mallia, jotka eroavat toisistaan antennivaihtoehdoiltaan sekä lähetystehoiltaan. Antennivaihtoehdot ovat moduulin piirilevyllä oleva johdinantenni sekä pienikokoinen koaksiaaliliitin ulkoiselle antennille. Lähetysteholtaan suuremmissa moduulissa on erillinen GS1011-piirin ulkopuolinen antennivahvistin. Moduulit ovat täysin pinniyhteensopivia toistensa sekä GainSpanin vanhempien GS1010M-moduulien kanssa. Kuvassa 7 on ulkoisella antennivahvistimella varustetut moduulit. Vasemmanpuoleinen moduuli GS1011MEP käyttää piirilevyantennia ja oikeanpuoleinen GS1011MEE ulkoista antennia, joka voidaan liittää moduulin vasemmassa alakulmassa näkyvään U.FL -koaksiaaliliittimeen. [17]



KUVA 7. GainSpan GS1011MEP ja GS1011MEE -moduulit

GainSpan GS1011M -moduulit tukevat IEEE 802.11b, g ja n -tyypin verkkoja, mutta ne toimivat IEEE 802.11b -standardin mukaisilla nopeuksilla, eli korkeintaan 11 Mb/s -nopeudella. Moduulin tukemat toimintatilat ovat infrastruktuuri, eli normaali tukiasemayhteys, ja ad-hoc. Moduulin ominaisuuksia on listattu taulukkoon 3. [17]

TAULUKKO 3. GainSpan GS1011M -moduulin ominaisuudet [17]

<b>Radioprotokolla</b>	IEEE 802.11b/g/n yhteensopiva
<b>Lähetysteho</b>	9 dBm (18 dBm ulkoisella vahvistimella)
<b>Käytettävä taajuus</b>	2,4 - 2,497 GHz
<b>Tuetut nopeudet</b>	11, 5.5, 2, 1 Mb/s (802.11b)
<b>Antennivaihtoehdot</b>	Piirilevyjohdin ja U.FL -koaksiaaliliitin ulkoiselle antennille
<b>Käyttölämpötila</b>	-40 C ... +85 C
<b>Suojausprotokollat</b>	WEP, WPA/WPA2-PSK, Enterprise, EAP-FAST, EAP-TLS, EAP-TTLS, PEAP
<b>Verkkoprotokollat</b>	UDP, TCP/IP (IPv4), DHCP, ARP, DNS, HTTP/HTTPS client ja server
<b>Sertifikaatit ja yhteensopivuudet</b>	Wi-Fi, FCC, IC, Japan, ETSI, RoHS
<b>I/O -rajapinnat</b>	UART (2), SPI (2), I2C, ADC (2), WAKE, ALARM (2), GPIO, PWM, JTAG
<b>Käyttäjännite</b>	+3,3 V
<b>Virrankulutus</b>	Standby-tilassa alle 5 $\mu$ A

GainSpan GS1011M -moduuleja on saatavana esiladatulla Serial-to-Wi-Fi-ohjelmistolla. Ohjelmiston ansiosta moduulia voi ohjata AT-komennoilla, joilla moduuli voidaan konfiguroida haluttua sovellusta varten. AT-komennot välitetään UART-liitännän kautta korkeintaan nopeudella 921 kb/s. Esiladattua ohjelmistoa käyttäviä moduuleja käyttämällä voi helposti lisätä olemassa olevaan laitteistoon Wi-Fi-tuen ilman suuria muutoksia laitteiston ohjelmistoon. Serial-to-Wi-Fi-ohjelmistoa käyttävät moduulit sisältävät samat ominaisuudet kuin muutkin GS1011M-moduulit. [18]

## 7 BLUEGIGA TECHNOLOGIESIN BLUETOOTH-TUOTTEET

Bluegiga Technologies on Espoossa Suomessa vuonna 2000 perustettu Bluetooth-moduuleihin ja -ratkaisuihin keskittynyt yritys. Bluegigan pääkonttori on Espoossa ja yrityksellä on toimistoja myös Yhdysvalloissa sekä Hong Kongissa. Yrityksellä on asiakkaita yli 65 maassa ja markkina-alueita ovat mm. lääketiede, autoteollisuus, ääni, teollisuus sekä kuluttajamarkkinat. Yritys kehittää Bluetooth-moduuleja sekä erilaisia tukiasemia Bluetooth-käyttöön. [19]

Bluegiga Technologiesin moduulit sisältävät täysin sulautetun Bluetooth 2.1 + EDR tai 4.0 LE single-mode -pinon, ja ne tukevat monia yleisimmistä Bluetooth-profiileista. Moduuleja käytettäessä on mahdollista toteuttaa Bluetoothin ylempi kerros laitteen omassa suorittimessa ja ohjata moduulia HCI-rajapinnan kautta tai vaihtoehtoisesti antaa moduulin hoitaa koko Bluetooth-pino. Bluegiga on kehittänyt BR/EDR-tuotteille oman iWRAP-pinon, joka helpottaa ja nopeuttaa tuotteen kehitystä. [19]

### 7.1 Bluetooth 2.1 + EDR -moduulit

Bluegiga Technologies on kehittänyt Bluetooth 2.1 -versiota tukevien moduulien perheen, jossa on viisi eri moduulia eri käyttötarkoituksia varten. Kaikki moduulit ovat pintaliitosmalleja. Moduulit hallitsevat myös mukautuvan taajuushyppelyn, mikä vähentää muiden laitteiden aiheuttamia häiriöitä yhteyksissä. Moduulien ominaisuuksia on listattu taulukkoon 4. [19]

TAULUKKO 4. Bluegiga Technologiesin BR/EDR -moduulit [20]

	WT11	WT12	WT32	WT21	WT41
<b>Bluetooth versio</b>	2.0+EDR, 2.1+EDR	2.0+EDR, 2.1+EDR	2.1 + EDR	2.1 + EDR	2.1 + EDR
<b>Bluetooth luokka</b>	1	2	2	1	1
<b>Kantama (näköyhteys)</b>	250m	40m	40m (80m WT32-E)	120m	1000m
<b>Antenni</b>	Sisäinen tai U.FL	Sisäinen, PIN	Sisäinen, W.FL, PIN	Sisäinen, PIN	Sisäinen, PIN
<b>Suurin throughput</b>	2,1 Mb/s	2,1 Mb/s	2,1 Mb/s	2,1 Mb/s	2,1 Mb/s
<b>Rajapinnat</b>	UART, USB, 6xGPIO, 1xAIO	UART, USB, 6xGPIO	UART, USB, 10xGPIO, 2xAIO	UART, CSPI, SDIO, 7xGPIO	UART, USB, 6xGPIO, 1xAIO
<b>Ääni-rajapinnat</b>	PCM	PCM	Analog, PCM, SPDIF, I2S	I2S, PCM	PCM
<b>Käyttöjännitteet</b>	3,0V - 3,6V	2,7V - 3,6V	2.5V - 4,4V	1,8V tai 2,7V - 4,9V	3,0V - 3,6V
<b>Muisti</b>	48 kB RAM, 8 MB Flash	48 kB RAM, 8 MB Flash	48 kB RAM, 8 MB Flash	ROM	48 kB RAM, 8 MB Flash
<b>Sertifikaatit</b>	Bluetooth, CE, FCC, IC, TE-LEC, MK	Bluetooth, CE, FCC, IC, TELEC	Bluetooth, CE, FCC, IC	Bluetooth, CE, FCC, IC	Bluetooth, CE, FCC, IC, TE-LEC, MK
<b>Mahdollisuus suorittaa ohjelmia</b>	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä
<b>Firmware-vaihtoehdot</b>	iWRAP, HCI, Oma	iWRAP, HCI, Oma	iWRAP, Oma	HCI	iWRAP, HCI, Oma
<b>Koko</b>	35 x 14 x 2,3 mm	26 x 14 x 2,4 mm	24 x 16 x 0,3 mm	17,1 x 11,6 x 2,6 mm	35 x 14 x 3,5 mm
<b>Bluetooth-profiilit</b>	SPP, DUN, HFP, HSP, HID, AVCRCP, DI, PBAP, OPP, FTP, HDP	SPP, DUN, HFP, HSP, HID, AVCRCP, DI, PBAP, OPP, FTP, HDP	SPP, DUN, HFP, HSP, HID, AVCRCP, DI, PBAP, OPP, FTP, HDP, A2DP	HCI over UART, CSPI, SDIO	SPP, DUN, HFP, HSP, HID, AVCRCP, DI, PBAP, OPP, FTP, HDP

## 7.2 Bluetooth Low Energy -tuotteet

Bluegiga Technologies on julkaissut uusinta Bluetooth 4.0 -versiota tukevan Bluetooth Low Energy -moduulin ja USB-sovittimen. Tuotteiden avulla on mahdollista toteuttaa Bluetooth LE -sovelluksia. Bluegigan BLE112 on vähävirtaisiin sovelluksiin tarkoitettu moduuli. Moduuli ja BLE112 USB -sovitin ovat molemmat single-mode-

laitteita, eli niiden sisältämä Bluetooth-piiri toteuttaa vain Bluetooth Low Energy -ohjaimen. [19]

Bluegigan BLE112-moduuli (kuva 8) sisältää kaikki Bluetooth Low Energy -ominaisuudet. Moduulin sisältämällä 8051-mikrokontrollerilla on myös mahdollista toteuttaa omaa koodia, joten moduulin kanssa ei ole välttämätöntä käyttää erillistä mikrokontrolleria omia sovelluksia varten. Bluegiga tarjoaa BG Profile Toolkit -työkalun, jolla moduulille voidaan luoda helposti omia GATT-profiileja. Yritys on myös kehittänyt BGScript -skriptauskielen, jolla voidaan toteuttaa yksinkertaista skriptipohjaista sovelluskoodia laitteelle. Moduulia voidaan myös ohjata ulkoisella mikrokontrollerilla käyttämällä yrityksen BGLib-kirjastoa. Moduulin tärkeimpiä ominaisuuksia on listattu taulukkoon 5. [21]



KUVA 8. Bluegiga Technologies BLE112 -moduuli [21]

TAULUKKO 5. Bluegiga BLE112 -moduulin ominaisuudet. [21]

<b>Bluetooth versio</b>	Bluetooth 4.0 Low Energy single-mode
<b>Bluetooth low energy</b>	GAP, GATT, L2CAP, SMP, profiilit
<b>Antenni</b>	Sisäinen, U.FL tai RF-pinni
<b>Rajapinnat</b>	UART, SPI, USB, GPIO, AIO, PWM, timer
<b>Käyttöjännitteet</b>	2,0V - 3,6V
<b>Muisti</b>	8 kt RAM, 128kt Flash
<b>Sertifikaatit</b>	Bluetooth 4.0, CE, FCC, Industry Canada ja Telec
<b>Mahdollisuus suorittaa ohjelmia</b>	Kyllä
<b>Virrankulutus (lähetys)</b>	27 mA (0 dBm)
<b>Virrankulutus (vastaanotto)</b>	19,6 mA
<b>Virrankulutus (sleep)</b>	0,4 $\mu$ A - 1,5 $\mu$ A
<b>Lähettimen teho</b>	+4 dBm ... -23 dBm
<b>Vastaanottimen herkkyys</b>	-87 dBm ... -93 dBm

Bluegiga BLED112 (kuva 9) on yrityksen kehittämä USB-sovitin, jolla PC:lle tai muulle USB-portin omaavalle laitteelle saadaan Bluetooth LE -tuki. BLED112 sisältää kaikki Bluetooth 4.0 Low Energy -ominaisuudet. Se osaa simuloida tavallista USB-laitetta, virtuaalista COM-porttia tai USB HID -laitetta. HID-laitteena sovitinta voi käyttää kätevästi liittämään esimerkiksi näppäimistöjä sekä hiiriä ilman ajurien asentamista. BLED112 sisältää sisäänrakennetun antennin, 8051-mikrokontrollerin, ohjelmoitavan ledin, kolme ajastinta sekä sisäänrakennetun lämpötila-anturin. [22]



KUVA 9. Bluegiga Technologies BLED112-sovitin [22]

## 8 EMOLEVYN SUUNNITTELU GS1011M-MODUULILLE

Osana tätä työtä suunniteltiin GainSpan GS1011M -moduulille yleiskäyttöinen emolevy, jota voitiin käyttää Lange-hankkeen eri projekteissa. Emolevyn tarkoituksena oli toimia kytkentäalustana GS1011M-moduulille. Emolevyn suunnittelussa otettiin huomioon eri projektien erilaiset tarpeet moduulin kytkennässä ja käytössä.

Emolevyn suunnittelussa otettiin mallia GainSpan GS1011MEE -kehitysalustasta (kuva 10). Kehitysalustassa on liittimet moduulin kaikille liitännöille. Näitä liitännöitä ovat kaksi UART-liitännää, kaksi SPI-liitännää (master ja slave), I2C-liitäntä ja JTAG-liitäntä. Lisäksi kehitysalustassa on kytkimiä, joita käytetään valitsemaan moduulin eri toimintatapoja, kuten JTAG:n päälle kytkentä, SPI/UART valinta ja Flash-ohjelmointi. [23]

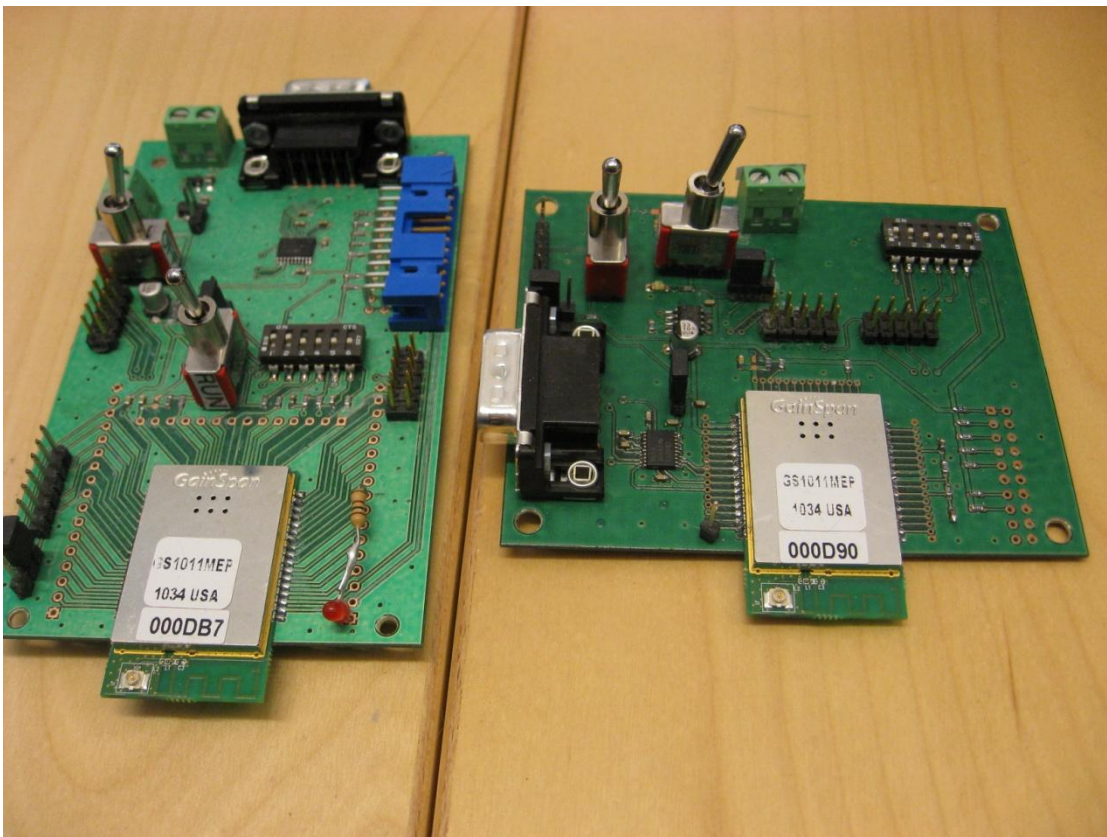


KUVA 10. GainSpan GS1011MEE kehitysalusta

Suunniteltavaan emolevyyn päätettiin sisällyttää mahdollisimman paljon liitännöitä, jotta eri projektien edetessä samoja emolevyjä voitaisiin käyttää tarpeiden mahdolli-

sesti muuttuessakin. Myös erilaiset virransäästöominaisuudet piti ottaa huomioon, sillä Lange-hankkeen eri projektit liittyvät vahvasti langattomiin ja akkukäyttöisiin laitteisiin. Valmistajan suosituksissa eri moduulimallien välillä on erilaisia kytkentävaihtoehtoja virrankäyttöön liittyen, joten nämäkin vaihtoehdot tuli huomioida, jotta suunnittelu- ja testauskäytössä voitaisiin käyttää eri moduuleja samaa piirilevyä käyttäen. Samalla emolevyn koko oli tarkoitus pitää kohtuullisen pienenä, jotta käyttö olisi vaivatonta myös moduulia liikuteltaessa.

Emolevystä suunniteltiin ensimmäinen protoversio, jota käyttämällä saatiin hyvää palautetta tarvittavista muutoksista päivitettävä versiota varten. Kuvassa 11 on vasemmalla ensimmäinen protomalli ja oikealla päivitetty emolevy. Protoversion lisäksi emolevyn päivitettävä versiota valmistettiin kolme kappaletta Lange-hankkeen käyttöön.



KUVA 11. Vasemmalla suunnitellun emolevyn ensimmäinen protoversio ja oikealla päivitetty versio

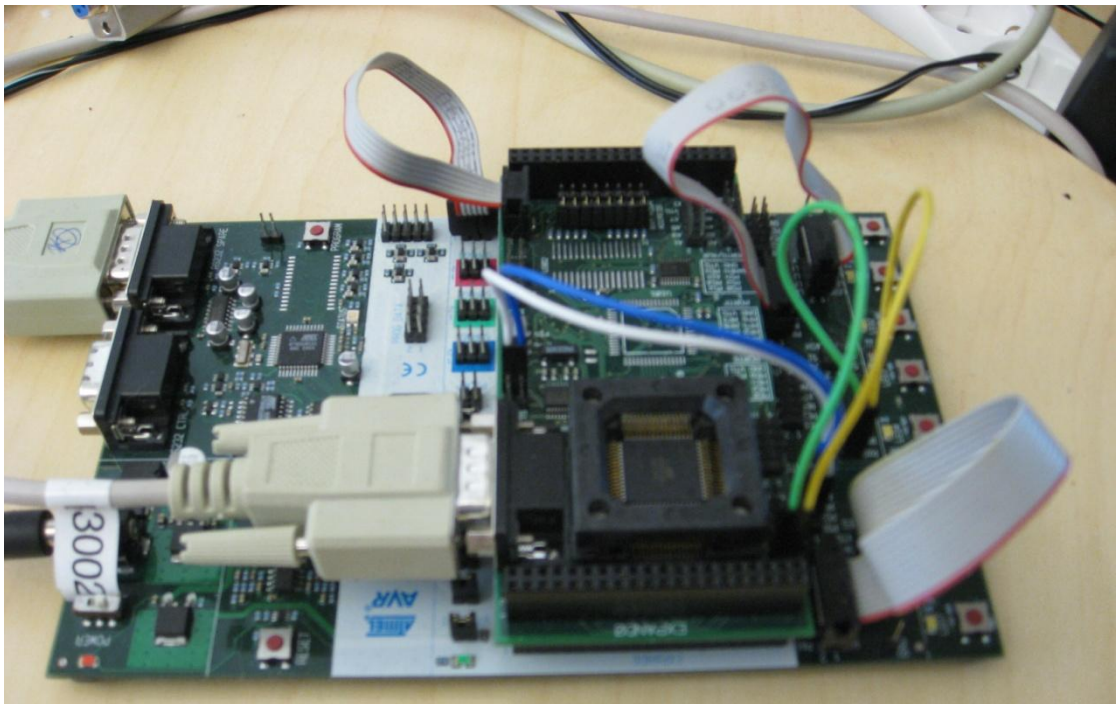


## 9 TOTEUTUS

Tässä työssä toteutettiin sovelluspohja langattomaan tiedonsiirtoon käyttäen Gain-Span GS1011M -moduulia. Moduulista käytettiin versiota jossa oli esiladattuna Serial to Wi-Fi -ohjelmisto. Moduulia voi ohjata sarjaportin kautta ja sen käyttöä opeteltiin ensin käskyttämällä moduulia suoraan tietokoneen sarjaportilla terminaaliohjelmia käyttäen. Toiminnan selvittyä moduuli kytkettiin STK500-alustaan sarjaliitännällä ja ryhdyttiin toteuttamaan sovelluskoodia mikrokontrollerille moduulin ohjaamiseksi. Työssä saatiin toteutettua toimiva ohjelmakoodi sovelluspohjaksi STK500-alustaa ja GS1011M-moduulia käyttäen.

### 9.1 Työkalut

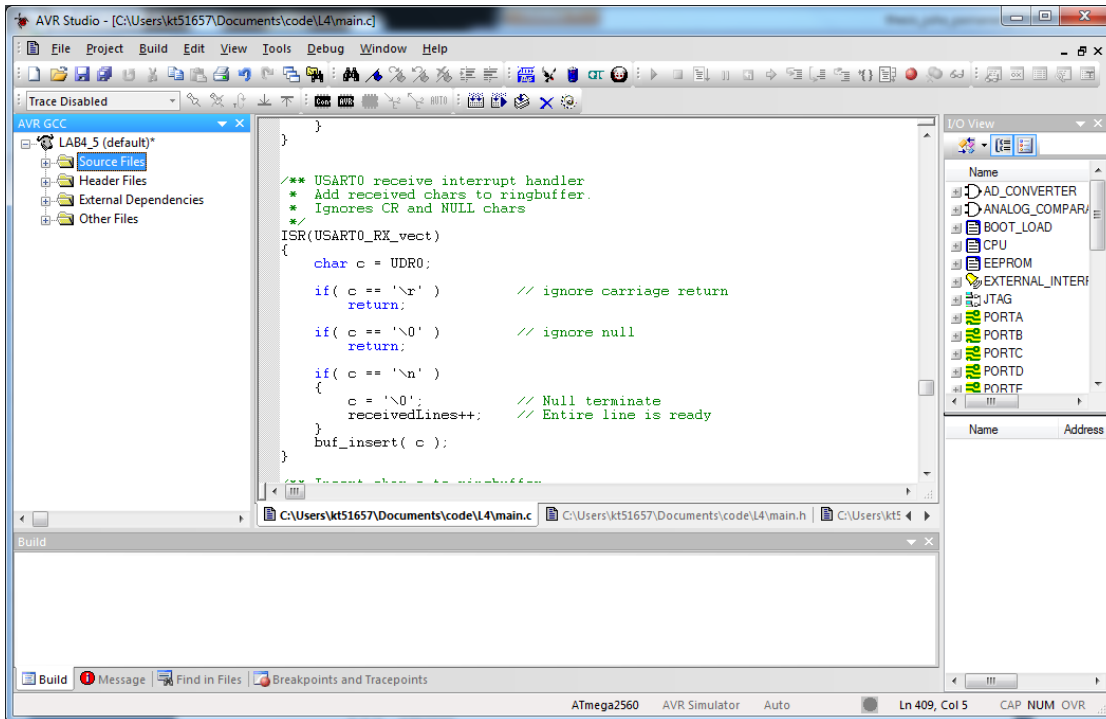
STK500 (kuva 12) on Atmelin kehitysalusta AVR-mikrokontrollereille. Käytetyssä kehitysalustassa oli mikrokontrollerina ATmega128. STK500-kehitysalustassa on monipuoliset liitännät eri rajapinnoille sekä mikrokontrollerin muille pinneille. Mikrokontrollerin ohjelmointi onnistuu UART-sarjaliitännällä. [24]



KUVA 12. Atmel STK500 -kehitysalusta

AVR Studio (kuva 13) on Atmelin ilmainen integroitu kehitysympäristö (IDE) 8-bittisille AVR-suorittimille. AVR Studio toimii Windows-ympäristössä ja se sisältää täydellisen

kehitysympäristön mikrokontrollerien ohjelmointiin, debuggaukseen, simulointiin ja ohjelman lataamiseen kohdelaitteelle. Se tukee Atmelin 8-bittistä arkkitehtuuria ja Atmelin kehitysalustoja, kuten STK500, STK600 ja AVR Butterfly sekä myös Atmelin debuggaus- ja JTAG-laitteita, kuten AVRISP ja AVR ISPMkII. [25]



KUVA 13. Atmelin AVR Studio 4 -ohjelmistonkehitysympäristö

## 9.2 Mittalaitteen rakenne

Delfin Technologies Oy:n mittalaite sisältää radiotaajuisen lähettimen, jonka tilalle tässä työssä suunniteltiin vaihtoehtoista toteutusta GainSpan GS1011M -moduulilla (kuva 14). Mittalaitteen mikrokontrolleri hoitaa anturilta tulevan datan lukemisen, näytön ohjaamisen sekä radiopiirin ohjauksen sarjaliikenteellä. Laitteessa on pieni näyttö sekä yksi painike jolla laitetta käytetään.



KUVA 14. Delfin Technologies Oy:n mittalaite ja GainSpan GS1011M -moduuli sovitettuna laitteen kotelon sisälle

### 9.3 Käyttötilanne

Mittalaitetta käytetään niin kotioloissa kuin lääketieteellisessä tutkimuksessakin. Normaalissa käyttötilanteessa käyttäjä käynnistää laitteen, suorittaa mittauksen ja lukee mittaustuloksen laitteen näytöltä. Mittaustiedon siirtäminen tietokoneelle tulisi olla automaattista ja laitteen käyttöönoton mahdollisimman helppoa. Laitetta on mahdollista käyttää myös ilman tietokoneyhteyttä.

Sovellusta suunniteltaessa tärkeimpänä ongelmana yhdessä Delfin Technologies Oy:n kanssa pidettiin laitteen mahdollisimman helppoa käyttöönottoa. Käyttöönotto tarkoittaa tässä tapauksessa asetusten määrittämistä moduulille, jotta se osaa yhdistää oikeaan tukiasemaan ja lähettää mittaustietonsa oikealle tietokoneelle. Koska mittalaitteessa on vain yksi painike ja liitäntöinä vain latausliitin, täytyy asetustiedot saada laitteelle langattomasti.

GainSpan GS1011M -moduuli tukee Wi-Fi Protected Setup (WPS) -tekniikkaa, jolla moduulille saa määritettyä tukiaseman asetukset helposti. WPS vaatii kuitenkin tuen

myös tukiasemalta, jota ei ole läheskään kaikissa markkinoilla olevissa tukiasemissa, joten WPS-tekniikalle täytyi keksiä toinen vaihtoehto.

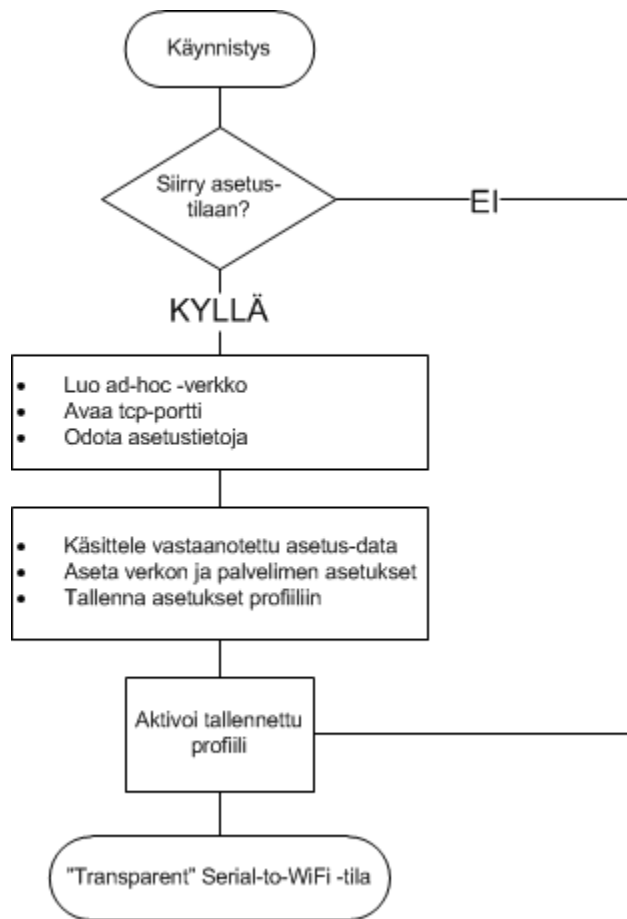
GS1011M-moduuli tukee myös asetusten määrittämistä verkkosivujen kautta. Verkkosivujen kautta tehtävää asetusten määrittämistä varten moduulin täytyy luoda ad-hoc-verkko ja asetuksia tekevän tietokoneen täytyy liittyä kyseiseen verkkoon. Asetussivuilta moduulille voidaan määrittää käytettävä tukiasema ja sen käyttämät salausasetukset ym. tiedot. Asetussivu on kuitenkin vajavainen, sillä sieltä ei voi määrittää IP-osoitetta, johon mittalaite lähettäisi mittaustiedot. Asetussivua ei voi muokata ilman maksullista kehitysympäristöä, joten tämäkään vaihtoehto ei ollut sopiva asetusten määrittämiselle.

#### 9.4 GainSpan GS1011M -moduulin käyttö

GainSpan GS1011M -moduulin Serial-To-Wi-Fi-ohjelmistoa käytetään sarjaliitännän kautta lähettämällä ASCII-muotoisia AT-komentoja moduulille. AT-komennot ovat muotoa "at+<komennon\_nimi>". Esimerkiksi "at+ws" -komento hakee moduulin alueella olevat tukiasemat ja tulostaa niiden tiedot sarjaliitännän kautta. Jokainen lähetetty komento täytyy lopettaa vaununpalautukseen (Carriage Return), joka on ASCII-koodina '\r' ja hexadesimaalisena '0x0D'. Moduuli vastaa lähetettyihin komentoihin samaa sarjaliitännää käyttäen.

#### 9.5 Toteutuksen rakenne

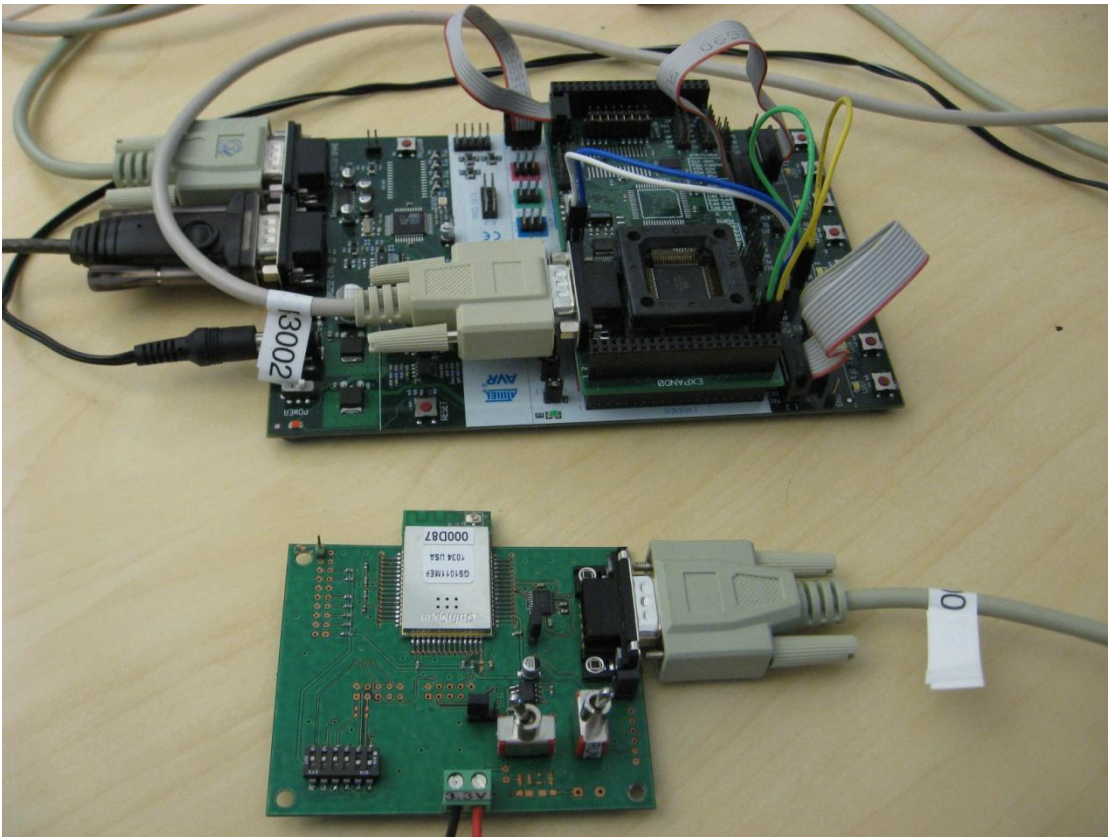
Toteutuksessa päädyttiin käyttämään ad-hoc-verkkoa asetusten määrittämiseen moduulille. Ad-hoc-verkko on laitteiden välinen yhteys, joka ei vaadi erillistä tukiasemaa. Näin ollen käyttöönotossa mittalaitteen ei tarvitse tietää mitään ympäristöstään, vaan laite luo itse ad-hoc-verkon, johon voidaan liittyä esimerkiksi kannettavalla tietokoneella. Tietokoneella liitytään laitteen luomaan verkkoon ja lähetetään verkon asetustiedot mittalaitteelle. Mittalaite käsittelee tiedot ja liittyy niiden mukaiseen verkkoon ja siirtyy tilaan, jossa se lähettää mittaustiedot määritetyille koneille. Tiedot tallennetaan GS1011M-moduulin profiiliksi, joten jatkossa asetukset ovat suoraan käytössä mittalaitteen käynnistyessä. (kuva 15)



KUVA 15. Sovellusalustan toteutuksen rakenne vuokaaviona

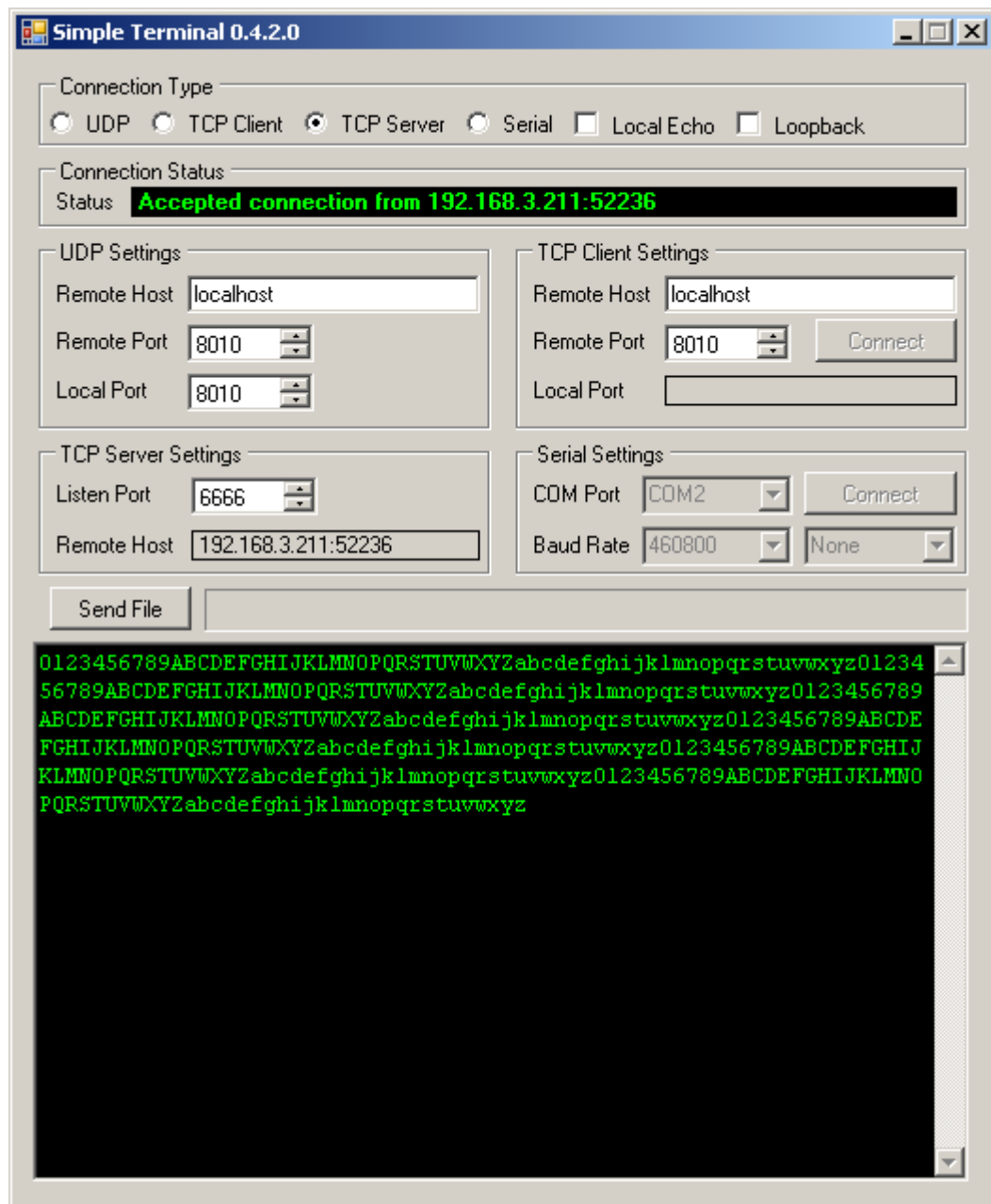
## 9.6 Sovelluksen kehitys ja ohjelmointi

Sovellusalustaa kehitettäessä käytettiin STK500-alustaa sekä työssä toteutettua emolevyä GS1011M-moduulille. GS1011M-emolevy kytkettiin STK500-alustan UART0-porttiin (kuva 16). STK500-alustan UART1-portti kytkettiin tietokoneeseen sarjaliitännän kautta, jolloin sitä voitiin käyttää kehitysvaiheessa debug-viestien välittämiseen näytölle. STK500-alustan ohjelmointi tapahtui alustan ohjelmointitarkoitusta varten olevan sarjaliitännän kautta. Emolevyn virransyöttö tapahtui suoraan 3,3 V akulta.



KUVA 16. STK500-alusta ja GS1011M-emolevy kytkettynä

Moduulin lähettämän tiedon vastaanottavana palvelimena käytettiin virtuaalikoneessa ajettavaa Windows XP -käyttöjärjestelmää, jossa palvelinohjelmistona oli Simple Terminal -terminaali-ohjelma. Terminaali-ohjelmassa avattiin TCP-portti vastaanotettavia lähetyksiä varten ja se näytti vastaanotetut tiedot ruudullaan (kuva 17).



KUVA 17. Simple Terminal -ohjelma on vastaanottanut yhteyden GS1011M-moduulilta, jonka IP-osoite on 192.168.3.211 ja joka on lähettänyt ASCII-muotoista dataa

#### 9.6.1 Tiedon lähetys moduulille STK500-alustalla

Komentojen lähetys GS1011M-moduulille tapahtuu yksinkertaisesti lähettämällä merkkejä STK500-alustan UART0-portin kautta. Yhden merkin lähettäminen tehdään yksinkertaisesti kirjoittamalla lähetettävä merkki rekisteriin UDR0.

```
// Wait for send-buffer to be empty
while( !(UCSR0A & (1<<UDRE0)) ) ;
```

```
// Write character to buffer
UDR0 = character;
```

Merkkijono lähetetään vastaavasti kirjoittamalla yksittäisiä merkkejä rekisteriin, kunnes koko merkkijono on kirjoitettu.

### 9.6.2 Tiedon lukeminen moduulilta

GS1011M-moduuli vastaa lähetettyihin komentoihin komennosta riippuen. Yleisimpiä vastauksia ovat "OK" sekä "ERROR". Vastaukset eivät välttämättä aina tule välittömästi heti komennon lähetysten jälkeen. Tiedon vastaanotto hoidetaan mikrokontrollerilla keskeytyksessä, jotta kaikki moduulin lähettämät tiedot saataisiin varmasti vastaanotettua. Vastaanotto tapahtuu yksi merkki kerrallaan, joten merkit tallennetaan ensin rengaspuskuriin, josta vastaanotettu tieto voidaan käsitellä rivi kerrallaan. Keskeytyksessä ei huomioida vaununpalautusta ('\r') eikä nollamerkkiä ('\0'). Rivinvaihdon tullessa lisätään yksi vastaanotettu rivi muuttujaan ja merkitään merkkijono lopuneeksi lisäämällä nollamerkki puskuriiin.

```
ISR(USART0_RX_vect)
{
    char c = UDR0;                // Read received char

    if( c == '\r' )               // Ignore carriage return
        return;

    if( c == '\0' )              // Ignore null character
        return;

    if( c == '\n' )              // New line
    {
        c = '\0';                // Null terminate
        receivedLines++;         // Entire line is ready
    }
    buf_insert( c );             // Insert char to ring buffer
}
```

### 9.6.3 Merkkijonon käsittely

Kokonainen rivi käsitellään ohjelmassa lukemalla rengaspuskurista merkkejä väliaikaiseen merkkijonomuuttujaan, kunnes rengaspuskurista luetaan nollamerkki, joka merkitsee kokonaisen rivin päättymistä. Merkkejä ei tarkastella suoraan rengaspuskurista, sillä keskeytys saattaisi kirjoittaa milloin tahansa uusia merkkejä rengaspuskuriin ja lukeminen voisi epäonnistua. Väliaikainen merkkijonomuuttuja myös helpottaa merkkijonon käsittelyä mahdollistamalla lukemisen aina suoraan merkkijonon



alusta, toisin kuin rengaspuskurin tapauksessa. Väliaikaismuuttujasta merkkijonon tulkitseminen tehdään yksinkertaisesti vertailemalla muuttujan merkkejä.

#### 9.6.4 Pääohjelman rakenne

Sovelluksesta tehtiin yksinkertainen tilakone, niin että ohjelman tilaa on helppo seurata ja mahdolliset virhetilanteet voidaan käsitellä kunkin tilan mukaisesti. Ohjelmassa on alla luetellut tilat.

- Komentotila: Ohjelman perustila, jossa moduulia ohjataan AT-komennoin.
- Asetustila: Tila, jossa luodaan ad-hoc-verkko sekä vastaanotetaan ja käsitellään asetukset.
- Yhteyden luontitila: Yhdistetään määritellyyn tukiasemaan sekä palvelimeen.
- Mittaustiedon lähetystila: Moduuli on lähetystilassa ja välittää kaiken sarjaportilta saamansa tiedon WLAN-yhteyden kautta palvelimelle.

Ohjelman toiminta on päättymättömässä silmukassa, jossa toimitaan kunkin tilan mukaisesti. Jokaisella silmukan kierroksella tarkistetaan, onko moduulilta vastaanotettu kokonainen merkkijono, ja käsitellään se tarvittaessa.

#### 9.7 Lopputulos

Lopputuloksena saatiin tehtyä valmis sovellusalusta, joka käyttää GS1011M-moduulia tiedonsiirtoon. STK500-alustaa käytettiin simuloimaan mittalaitetta. STK500-alustan painiketta painamalla moduuli asetetaan asetus-tilaan, jolloin se luo ad-hoc-verkon ja jää odottamaan tietyssä formaatissa lähetettäviä asetustietoja. Kun moduuli on vastaanottanut asetustiedot, ne määritellään moduuliin profiiliksi, jolloin ne ovat seuraavilla käynnistyskerroilla automaattisesti käytettävissä. Tämän jälkeen moduuli ottaa määritellyn profiilin asetukset käyttöön eli yhdistää tukiasemaan sekä luo TCP/IP-yhteyden määritellyyn tietokoneeseen. Moduuli asettuu lopuksi läpinäkyvään lähetystilaan, jossa se välittää kaikki sarjaportin kautta vastaanottamansa tiedot WLAN-yhteyden kautta määritellylle tietokoneelle.

## 10 PÄÄTELMÄT

Tässä opinnäytetyössä toteutettiin toimiva sovellusalusta käytettäväksi Delfin Technologies Oy:lle. Sovellusalusta on kehitetty STK500-alustalle GainSpan GS1011M -moduulia käyttäen, ja se on helposti laajennettavissa ja muokattavissa muillekin alustoille.

Työn edetessä suurimmaksi ongelmaksi paljastui moduulin asetusten määrittäminen. Määrittysten teko on mahdollista luomalla moduulilla ad-hoc-verkko, mutta se on melko hankala ratkaisu loppukäyttäjälle. Opinnäytetyötä tehdessä markkinoille ilmestyivät suomalaisen Bluegiga Technologiesin Bluetooth Low Energy -moduulit, joten vertailun vuoksi tässä työssä käsiteltiin myös Bluetoothia. Ajan puutteen vuoksi Bluetoothia ei päästy kuitenkaan käytännössä kokeilemaan. Todennäköistä onkin, että Lange-hanke jatkaa Bluetoothin tutkimista vaihtoehtona kyseiseen sovellukseen, sillä Bluetooth-laitteiden yhteyksien luonti on huomattavasti helpompaa kuin WLAN-laitteiden asetusten määrittäminen. Kyseisen sovelluksen tiedonsiirtomäärät ovat suhteellisen pieniä, joten Bluetooth-tekniikan hitaampi siirtonopeuskaan ei olisi esteenä. Uusi Bluetooth Low Energy -tekniikka on myös huomattavasti vähävirtaisempi WLAN-tekniikkaan verrattuna.

## LÄHTEET

1. Sipilä, Matti ja Toppinen, Arto. *Langattomien sensoreiden käyttö lääketieteellisessä multiparametrimonitoroinnissa*. Kuopio: Lange-hankkeen dokumentti, 2010.
2. Delfin Technologies. *Yrityksen internet-sivut*. [Verkkodokumentti] 2011. [viitattu 26.3.2011] Saatavissa: <http://www.delfintech.com/>.
3. WNDW.net. *Wireless Networking in the Developing World, Second Edition*. *WNDW.net*. [PDF-dokumentti] 2011. [viitattu 13.4.2011] Saatavissa: <http://wndw.net/pdf/wndw2-en/wndw2-ebook.pdf>.
4. Puska, Matti. *Lähiverkkojen tekniikka - PRO TRAINING*. Jyväskylä : Satku - Kauppakaari, 2000.
5. Pascual, Alberto Escudero. *Wireless Standards Handout*. *WirelessU.org*. [PDF-dokumentti] 2006. [viitattu 13.4.2011] Saatavissa: [http://www.wirelessu.org/uploads/units/2008/08/14/50/02\\_en\\_mmtk\\_wireless\\_standards\\_handout.pdf](http://www.wirelessu.org/uploads/units/2008/08/14/50/02_en_mmtk_wireless_standards_handout.pdf).
6. Villegas, Eduard Garcia;ym. *Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs*. [PDF-dokumentti] 2007. [viitattu 26.4.2011] Saatavissa: [https://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/1234/1/CrownCom07\\_CReady.pdf](https://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/1234/1/CrownCom07_CReady.pdf).
7. Meru Networks. *Wireless Without Compromise: Delivering the Promise of IEEE 802.11n*. *Meru Networks internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2008. [viitattu 23.4.2011] Saatavissa: [http://www.merunetworks.com/pdf/whitepapers/WP\\_80211nAppDelivery\\_v1.pdf](http://www.merunetworks.com/pdf/whitepapers/WP_80211nAppDelivery_v1.pdf).
8. Caro, Dick. *Wireless Networks for Industrial Automation (3rd Edition)*. : ISA, 2008.
9. Bluetooth Special Interest Group. *About the Bluetooth SIG: Overview*. *Bluetooth Special Interest Group internet-sivut*. [Verkkodokumentti] 2011. [viitattu 22.4.2011] Saatavissa: [https://www.bluetooth.org/About/bluetooth\\_sig.htm](https://www.bluetooth.org/About/bluetooth_sig.htm).
10. Bluetooth Special Interest Group. *Bluetooth Basics*. *Bluetooth Special Interest Group internet-sivut*. [Verkkodokumentti] 2011. [viitattu 22.4.2011] Saatavissa: <http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>.
11. McDermott-Wells, P. *What is Bluetooth? IEEE Potentials*. 2004, [e-lehti] Vuosik. 23, 5, ss. 33-35.
12. Bluetooth Special Interest Group. *Specification of the Bluetooth System Core Package version: 4.0*. *Bluetooth Special Interest Group*. [PDF-dokumentti] 30. 6 2010. [viitattu 5.4.2011] Saatavissa: [https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc\\_id=229737](https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=229737).

13. Bluegiga Technologies. Bluetooth low energy technology. *Bluegiga Technologies yrityksen internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2011. [viitattu 3.8.2011] Saatavissa: [http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Bluetooth\\_LE/BGT\\_Bluetooth\\_low\\_energy\\_technology.pdf](http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Bluetooth_LE/BGT_Bluetooth_low_energy_technology.pdf).
14. Bluegiga Technologies. Classic Bluetooth vs. Bluetooth low energy. *Bluegiga Technologies yrityksen internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2011. [viitattu 24.4.2011] Saatavissa: [http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Pub%20files/Bluetooth\\_LE\\_comparison.pdf](http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Pub%20files/Bluetooth_LE_comparison.pdf)
15. Bluetooth Special Interest Group. Adopted Bluetooth Profiles, Protocols and Transports. *Bluetooth Special Interest Group*. [Verkkodokumentti] 2011. [viitattu 26.4.2011] Saatavissa: <https://www.bluetooth.org/Technical/Specifications/adopted.htm>.
16. GainSpan Corporation. *Yrityksen internet-sivut*. [Verkkodokumentti] [viitattu: 6.4.2011] Saatavissa: <http://gainspan.com/>.
17. GainSpan Corporation. GainSpan GS1011M Low Power Wi-Fi Module Family Product Brief. *GainSpan Corporationin internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2009. [viitattu 19.4.2011] Saatavissa: <http://www.gainspan.com/docs2/GS1011M-PB.pdf>.
18. GainSpan Corporation. GainSpan Serial to Wi-Fi Evaluation Kit Product Brief. *Gainspan Corporationin internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2010. [viitattu 19.4.2011] Saatavissa: [http://www.gainspan.com/docs2/GS\\_EVAL-S2W-PB.pdf](http://www.gainspan.com/docs2/GS_EVAL-S2W-PB.pdf).
19. Bluegiga Technologies. *Yrityksen internet-sivut*. [Verkkodokumentti] 2011. [viitattu 6.4.2011] Saatavissa: <http://www.bluegiga.com/>.
20. Bluegiga Technologies. All Products Brief. *Yrityksen internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2011. [viitattu 24.4.2011] Saatavissa: [http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Pub%20files/All\\_Products\\_Brief\\_lores.pdf](http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Pub%20files/All_Products_Brief_lores.pdf)
21. Bluegiga Technologies. BLE112 Bluetooth Low Energy Module Product Brief. *Yrityksen internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2011. [viitattu 25.4.2011] Saatavissa: [http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Product%20images/BLE112\\_Product\\_Brief\\_270111\\_lores.pdf](http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Product%20images/BLE112_Product_Brief_270111_lores.pdf).
22. Bluegiga Technologies. Bluetooth Low Energy Dongle Product Brief. *Bluegiga Technologies yrityksen internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2011. [viitattu 25.4.2011] Saatavissa: [http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Product%20images/BLED112\\_Product\\_Brief\\_270111\\_lores.pdf](http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/Product%20images/BLED112_Product_Brief_270111_lores.pdf).
23. GainSpan Corporation. GainSpan Software Development Kit 2.2 Product Brief. *GainSpan Corporationin internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2010. [viitattu 14.4.2011] Saatavissa: [http://www.gainspan.com/docs2/GS\\_SDK-PB.pdf](http://www.gainspan.com/docs2/GS_SDK-PB.pdf).

24. Atmel Corporation. AVR STK500 User Guide. *Yrityksen internet-sivut*. [PDF-dokumentti] 2003. [viitattu 26.4.2011] Saatavissa:  
[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc1925.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1925.pdf).
25. Atmel Corporation. AVR Studio 4. *Yrityksen internet-sivut*. [Verkkodokumentti] 2011. [viitattu 26.4.2011] Saatavissa:  
[http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=2725](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=2725).





---

[www.savonia.fi](http://www.savonia.fi)

