



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

RISTO KORTETJÄRVI
PERSONOIVA ÄLYKOTIANTURI
Diplomityö

Tarkastajat: professori Seppo Kuikka,
tutkija Mikko Salmenperä
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatiotekniikan tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 12. elokuuta 2015

TIIVISTELMÄ

RISTO KORTETJÄRVI: Personoiva älykotianturi

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 58 sivua

Elokuu 2015

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Automaation tietotekniikka

Tarkastajat: professori Seppo Kuikka, tutkija Mikko Salmenperä

Avainsanat: Kotiautomaatio, anturi, tunnistus, älykoti

Kotiautomaatio on kasvava osa rakennusalaan ja talotekniikkaan. Järjestelmät ovat kehittyneet, ja markkinoilla on runsaasti eri valmistajien tuotteita. Automaation integraatio ja esineiden Internet ovat vauhdittaneet myös kotiautomaation leviämistä.

Anturit ovat olennainen osa kotiautomaatiota, ja niitä tarvitaan paljon erilaisia halutun tarkkuuden mukaan. Ongelmana nykyään on se, että kotiautomaatiojärjestelmän hankkija joutuu usein käyttämään saman valmistajan antureita, vaikka tekniikat ovat pohjimmiltaan kaikilla valmistajilla samanlaisia. Anturit vaativat suunnittelulta ja rakentamiselta erityishuomiota, koska ne joudutaan monesti asentamaan tilaan kiinteästi ja johdottamaan keskukseen.

Nykyisellään rakennusautomaatiossa käytetään liiketunnistimia tilassa oleviin henkilöihin reagoimiseen. Vielä tarkempaa automaatiota saavutettaisiin, jos tilassa olevat henkilöt saataisiin identifioitua. Tähän tarkoitukseen soveltuvia tekniikoita pohdittiin ja tutkittiin.

Tässä työssä suunniteltiin ja valmistettiin kotiautomaatioon soveltuva henkilön tunnistava monitoimianturi. Teknologiana käytettiin tunnistuksessa Bluetooth low energyä ja tiedonsiirrossa WLAN-yhteyttä. Piireinä toimivat Bluegigan sulautetut alustat ja antureina halvat kaupalliset lämpötila-, kirkkaus-, ja liikeanturit.

Lopputuloksena saatiin valmistettua toimiva prototyyppi, joka voi helpottaa kotiautomaation anturointiongelmia ja mahdollistaa henkilöiden identifioinnin. Bluetooth low energy osoittautui toimivaksi tekniikaksi tunnistustarkoitukseen, mutta toistaiseksi vähäinen laitetuki rajoittaa sen käyttöä työssä tutkitulla tavalla.

ABSTRACT

RISTO KORTETJÄRVI: Personalizing Smart Home Sensor

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 58 pages

August 2015

Master's Degree Programme in Automation Technology

Major: Information Systems in Automation

Examiners: Professor Seppo Kuikka, Researcher Mikko Salmenperä

Keywords: Home automation, sensor, recognition, smart home

Home automation is a growing part of the construction industry and building service technology. The systems have evolved and there are plenty of different vendors' products in the market. The spread of home automation has also been accelerated by the integration of automation and the Internet of Things concept.

Sensors are an integral part of home automation, and many different sensors are required depending on the desired accuracy. A current problem is that the person who buys the home automation system is often forced to use sensors from a single manufacturer, even though the technology is identical for all manufacturers. The sensors require special attention in planning and building phase, because they need to be installed firmly. Also the wiring to a central hub needs to be taken into account.

Currently in building automation, motion sensors are used to react to people moving in a room. If the individual persons in the room could be identified, this would lead to more accurate automation. The appropriate technologies and methods to accomplish this goal were considered and examined.

In this thesis, a home automation multisensor capable of identifying people was developed. To recognize people, Bluetooth low energy was used. Data transmission utilized a WLAN-connection. Bluegiga's embedded boards were used as the platform of the device and the sensors were common, cheap temperature, brightness and motion sensors.

As a result, a working prototype was developed, which can help sensor problems in home automation and makes it possible to identify persons. Bluetooth low energy turned out to be a working technology in identification purpose. However, there is still a lack of device support, which restricts its use in for the purposes studied in this thesis.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö koostaa pitkään jatkuneen kiinnostukseni asumisolosuhteiden kehittämistä kohtaan. Opiskeluaikana pyrin valitsemaan kotiautomaation kannalta hyödyllisiä kursseja, ja tein aiheeseen liittyviä harjoitustöitä. Työni idean sain kokemuksistani työharjoittelussa Itävallassa kotiautomaatioyritys Loxone GmbH:ssa.

Haluan kiittää ohjaajiani professori Seppo Kuikkaa sekä Mikko Salmenperää vapaasta ja joustavasta työn tekemisestä. Kiitos Bluegigalle, joka tarjosi moduuleja käyttöni. Kiitos myös ystävälleni Petri Östermanille suuresta avusta monissa projekteissa. Eri-tyiskiitokset vanhemmille tuesta ja kannustuksesta, mutta myös kritiikistä, jota ilman moni idea olisi jäänyt perustelematta.

Tampereella, 21.8.2015

Risto Kortetjärvi

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimusongelma ja työn tavoite	1
1.2	Työn rakenne	3
2.	KOTIAUTOMAATIO	4
2.1	Kotiautomaation kehitys	5
2.2	Kotiautomaatio vai älykoti	6
2.3	Kotiautomaatiojärjestelmät	7
2.4	Kotiautomaation suhde rakennusautomaatioon	8
2.5	Kotiautomaatio osana rakennusalaan	10
2.6	Kotiautomaatiomarkkinat	10
3.	ANTUROINTI	12
3.1	Anturoinnin hyödyt	13
3.2	Kotiautomaatiossa tarvittavat mittaukset	14
3.3	Anturointi osana kotiautomaatiojärjestelmää	14
3.4	Markkinoilla olevia antureita	15
3.5	Esineiden Internet	16
3.6	Automaation integraatio	16
4.	TYÖN VAATIMUSMÄÄRITTELY	18
4.1	Vaatimukset	18
4.1.1	Käytettävyysvaatimukset	18
4.1.2	Fyysiset vaatimukset	19
4.1.3	Anturivaatimukset	19
4.1.4	Sähköiset vaatimukset ja tietoturva	20
4.2	UML-käyttöpaukset	20
5.	TOTEUTUSTEKNOLOGIAT	23
5.1	Ohjainpiiri	24
5.1.1	Kehitysalustat	24
5.1.2	Mikrokontrollerit	24
5.2	Anturit	26
5.3	Lähetystekniikka	27
5.4	Tunnistustekniikat	28
5.4.1	Bluetooth Classic	30
5.4.2	Bluetooth low energy	31
5.5	BGScript skriptikieli	33
5.6	Muut tekniikat	34
6.	TYÖN TOTEUTUS	35
6.1	Ensimmäinen versio	35
6.2	Bluegiga-versio	37
6.2.1	Prototyypin valmistaminen	37

6.2.2	Piirilevyn valmistaminen	40
6.2.3	Ohjelmointi ja testaus.....	42
6.2.4	Integrointi kotiautomaatiojärjestelmään	48
6.3	Android-konfigurointisovellus	49
7.	TYÖN TULOKSET	51
7.1	Vaatimustarkastelu	52
7.2	Työn merkitys	53
8.	YHTEENVETO	54
	LÄHTEET	56

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AD	Analogia-digitaali
AP	Access Point, tukiasema
ASCII	7-bittinen tietokoneiden merkistö
ATT	Attribute Protocol, osa Bluetooth low energyn toteutusta
BLE	Bluetooth low energy, uusi Bluetooth Smartin spesifikaatio
GAP	Generic Access Profile
GATT	Generic Attribute Profile
GND	Ground, jännitteen maataso
GSM	Matkapuhelinverkko
IP	Internet Protocol, Internet-kerroksen protokolla
IR	Infrared, infrapuna
KNX	standardoitu väylätekniikka rakennusautomaatiossa
LAN	Local Area Network, lähiverkko
LCD	Liquid-crystal-display, nestekidenäyttö
LVIS	Lämpö-Vesi-Ilmastointi-Sähkö
MAC	Media Access Control, yksilöllinen tunniste laitteille verkossa
MCLR	Master Clear, piirin nollauspinni
NFC	Near Field Communication, lähitunnistustekniikka
NTC	Negative Temperature Coefficient, termistori, lämpötila-anturi
PIN	Personal Identification Number, PIN-koodi
PIR	Passive Infrared Sensor, tunnistin joka mittaa infrapunasäteilyä
PTC	Positive Temperature Coefficient, termistori, lämpötila-anturi
RFID	Radio-Frequency Identification, lähitunnistustekniikka
RTS/CTS	Request to Send / Clear to Send, UARTin kättelytekniikka
SDP	Service Discovery Protocol, palveluhaussa käytettävä protokolla
SPI	Serial Peripheral Interface, synkroninen tiedonsiirtotekniikka
TCP	Transmission Control Protocol, tietoliikenneprotokolla
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, asynkroninen tiedonsiirto
UDP	User Datagram Protocol, yhteydetön tiedonsiirtoprotokolla
UHF	Ultra High Frequency, mikroaaltojen taajuusalue välillä 0,3–3 GHz
UML	Unified Modeling Language, monikäyttöinen mallinnuskieli
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi
UUID	Universally unique identifier, yksilöllinen tunniste ohjelmistokäytössä
VDD	Positiivinen käyttöjännite
Wi-Fi	Wi-Fi Allianssin kaupallinen nimitys WLAN-tuotteille
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka
VSS	Negatiivinen käyttöjännite, maa

1. JOHDANTO

Kotiautomaatiota löytyy yhä useammasta kodista, ja se on kasvava osa rakennusala ja talotekniikkaa. Yleisiä syitä automaation käytölle kotona ovat esimerkiksi energiansäästö ja mukavuuden lisääminen, jotka parantavat asumisolosuhteita mahdollistaen asukkaiden keskittymisen olennaiseen. Älykoti-termi viittaakin kokonaan uudentyyppisiin asumisolosuhteisiin, joissa talo ottaa enemmän vastuuta omasta toiminnastaan.

Kotiautomaatiojärjestelmiä on markkinoilla paljon, mutta yleistä standardia toteutustavoille ei ole. Kuluttajan kannalta tilanne on ollut sekava ja järjestelmien hankinta monimutkaista. Automaatioalan yleiset kehityssuunnat, kuten integraatio ja esineiden Internet parantavat myös kotiautomaation asemaa ja vauhdittavat sen leviämistä. Järjestelmät ovatkin kehittyneet ja hinnat laskeneet.

Kotiautomaatiojärjestelmä koostuu antureista, ohjausjärjestelmästä ja toimilaitteista. Antureiden avulla saadaan tietoa systeemin nykytilasta, jolloin ohjausta voidaan säätää halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi. Koti on monipuolinen systeemi, jonka automatisointi voidaan toteuttaa monella tavalla, ja antureita tarvitaan paljon erilaisia. Tietyt perusanturit ovat kuitenkin yleisiä, ja niitä käytetään lähes kaikissa kotiautomaatiojärjestelmissä. Yleisesti mitattavia suureita ovat esimerkiksi lämpötila, kirkkaus ja liike.

1.1 Tutkimusongelma ja työn tavoite

Kotiautomaatioon ei ole saatavilla henkilön tunnistavaa monitoimianturia, joka on helposti kytkettävissä eri järjestelmiin.

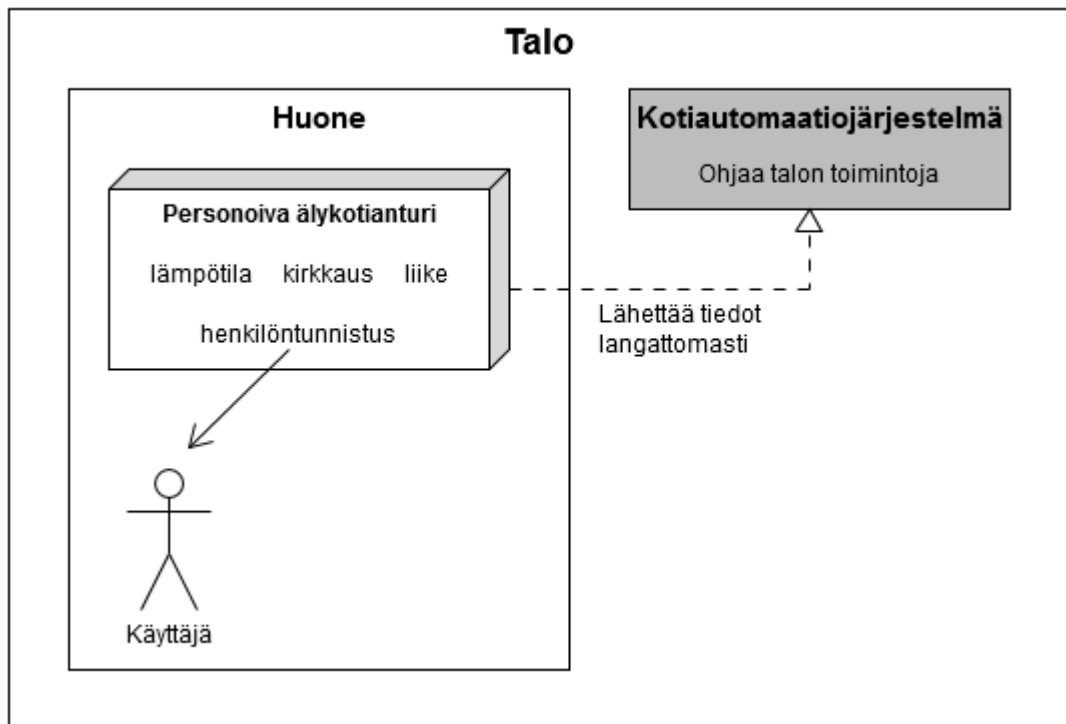
Tilassa oleviin henkilöihin reagoimiseen käytetään nykyään liiketunnistimia. Liiketunnistimien avulla voidaan ohjata esimerkiksi valaistusta ja lämmitystä käytön mukaan. Ongelma liiketunnistimien käytössä on se, että liiketunnistin mittaa vain liikettä, eikä sitä onko tilassa joku vai ei. Esimerkiksi valaistus saattaa sammua, jos henkilö pysyy paikallaan pitkään. Toinen hyöty henkilön tunnistuksesta on yksilöllinen reagointi, jolloin talo voi käyttäytyä eri tavalla riippuen siitä kuka siellä on. Esimerkiksi valaistusta, musiikkia ja lämmitystä voidaan säätää käyttäjästä riippuen, mutta myös kulunvalvonta, terveyden tarkkailu ja opastus mahdollistuvat paikannuksen myötä.

Antureiden liitettävyys on ongelma kotiautomaatioasennuksissa. Valitusta mittaustarkkuudesta riippuen jokaiseen tilaan tarvitaan samat anturit, joten johdotusta ja asennustöitä tarvitaan paljon. Eri valmistajien anturilaitteissa voi olla yhteensopivuusongelmia toisten järjestelmien kanssa, vaikka anturitekniikat ovat pohjimmiltaan samanlaisia.

Markkinoilla on joitakin ratkaisuja sisätilapaikannukseen ja antureiden yhdistämiseen. Paikannukseen on olemassa Bluetoothilla toimivia majakoita, jotka matkapuhelin havaitsee. Monta anturia samaan langattomaan pakettiin yhdistäviä monitoimiantureita on myös myynnissä.

Tavoitteena tässä työssä on tutkia ja löytää menetelmä, jolla henkilön tunnistamisen ja yhdistämisen monitoimianturiin saisi toteutettua kaikkein kätevimmin. Reunaehtoina on määritelty vaatimukset, jotka laitteen tulisi täyttää. Tällaisia vaatimuksia ovat esimerkiksi käytettävän teknologian yleisyys, riittävä tarkkuus ja edullinen hinta. Tavoitteena ei ole tehdä valmista kaupallista tuotetta, koska se vaatisi enemmän resursseja ja koko-aikaista keskittymistä aiheeseen.

Suunniteltava laite on kotiautomaatiojärjestelmää avustava anturipakkaus, joka lähettää sille langattomasti mittaustietoja lämpötilasta, kirkkaudesta ja liikkeestä. Lisäksi laite tunnistaa tilassa olevat henkilöt, jolloin valaistusta, lämmitystä, musiikkia ja muita toimintoja voidaan säätää yksilöllisesti. Talo voi siis käyttäytyä eri tavalla sen mukaan, onko huoneessa asukas vai vieras. Laitteita asennetaan halutun tarkkuuden mukaan esimerkiksi joka huoneen kattoon yksi, jolloin saavutetaan huonekohtainen säätö. Laitteen toiminta on esitetty periaatekuvassa yksi.



Kuva 1 Laitteen periaate

1.2 Työn rakenne

Työ tehtiin suunnitelmallisesti vaiheittain ja tarpeen mukaan iteroiden. Aluksi perehdyttiin aiheeseen ja tutkittiin eri menetelmiä henkilön tunnistukseen. Sopivan menetelmän valinnan jälkeen testattiin hankittuja osia koekytkentälevyllä, mikä vei eniten aikaa. Kun kytkentä saatiin toimimaan, suunniteltiin ja valmistettiin piirilevy jolle osat juotettiin. Lopuksi testattiin anturin toiminta vielä kokonaisuudessaan.

Kirjallisen osuuden rakenne koostuu luvuista kotiautomaatio, anturointi, työn suunnittelu, toteutusteknologiat, työn toteutus ja työn tulokset. Kotiautomaatio-luvussa käsitellään kotiautomaatiota yleisesti, sen merkitystä asumiseen ja minkälainen on sen suhde yhteiskuntaan laajemmin. Anturointiluvussa kerrotaan antureista osana kotiautomaatiojärjestelmää, tutkitaan kotiautomaatioantureiden markkinatilannetta sekä tämän hetken trendejä anturoinnissa. Työn suunnittelu -luvussa kuvataan suunnittelun vaiheet vaatimusmäärittelyn avulla eri vaatimustapauksin jaoteltuna, ja esitetään laitteen toiminta UML-kaaviolla. Toteutusteknologialuvussa perehdytään laitteen teknologiavalintoihin yksityiskohtaisesti ja perustellaan käytetyt menetelmät. Lisäksi luvussa annetaan perustietoa kustakin teknologiasta ja esitetään tärkeimpiä havaintoja niiden käytöstä tämän opinnäytetyön tarkoituksessa. Työn toteutus -luvussa kerrotaan työosuuden vaiheet piirisuunnittelun ja ohjelmoinninkin osalta. Luvussa esitellään myös toteutettu Android-sovellus. Työn tulokset -luvussa kootaan yhteen tärkeimmät työssä saavutetut havainnot ja tulokset.

2. KOTIAUTOMAATIO

Kotiautomaatiolla tarkoitetaan nimensä mukaisesti kotien automatisointia. Perinteisen automaation tavoin sillä halutaan vähentää manuaalista työtä ja parantaa näin toimintojen tehokkuutta sekä alentaa kustannuksia. Nykyään kotiautomaatio tarkoittaa mahdollisuutta ohjata kodin laitteita keskitetysti ja ohjelmoida automaattisia toimenpiteitä. Ohjattavia toimintoja ovat esimerkiksi ilmastointi, valaistus, turvajärjestelmät ja viihdeelektroniikka. Parhaimmillaan kotiautomaatiolla lisätään asumismukavuutta ja turvallisuutta, mutta säästetään samalla energiaa ja rahaa. [1]

Kotiautomaatio on kehittynyt yhdessä rakennusalan ja elektroniikan kanssa. Merkittäviä virstanpylväitä kotiautomaation kehityksessä ovat olleet sähkön keksiminen, kodinkoneet, digitaalitekniikka ja Internet, jotka ovat tuoneet uusia mahdollisuuksia kotitalouksien asumismukavuuden parantamiseen. Tänä päivänä kehitys lienee aiempaakin vauhdikkaampaa, mutta kodeissa on yhä käytössä satoja vuosia vanhoja keksintöjä. [2]

2000-luvulle tultaessa kodin elektroniikkalaitteet yleistyivät, ja myös kaupallisia kotiautomaatiojärjestelmiä tuli markkinoille. Matkapuhelimista tuli älypuhelimia, ja kotiautomaation yhteydessä alettiin puhua älykodeista. Järjestelmät olivat kuitenkin melko yksinkertaisia ja keskittyivät laitteiden päälle-pois-kytkemiseen, joten varsinaisesta älykkyydestä ei voida puhua. Vasta laajempi datan analysointi ja päätöksenteko tuo koteihin älykkyyttä. [3]

Markkinoilla on iso joukko eri valmistajien kotiautomaatiojärjestelmiä. Niillä pystytään ohjaamaan ja automatisoimaan kodin perustoimintoja kattavasti, ja käytettävyysskin alkaa olla helppoa. Ongelmia on edelleen eri järjestelmien yhteensopivuudessa, laitteiden asentamisen monimutkaisuudessa ja järjestelmien kalliissa hinnoissa. [4]

Kotiautomaatio on osa rakennusautomaatio-käsitettä. Rakennusautomaatio ja talotekniikka ovat yhä isommassa roolissa nykypäivän rakennushankkeita, kun esimerkiksi ilmastointia, valaistusta ja turvajärjestelmiä halutaan integroida yhä paremmin toimiviksi kokonaisuuksiksi. Rakennusautomaatiosta on tunnistettavissa perinteiset automaation osa-alueet, kuten jako kenttälaitteisiin, automaatiolaitteisiin ja hallintalaitteisiin. [1]

Kotiautomaatio liittyy kiinteästi rakennusalaan. Parhaat valinnat voidaan tehdä ainoastaan talon suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa, joten kotiautomaatiojärjestelmä tulisi ottaa huomioon ajoissa. Kotiautomaatiojärjestelmiä kuitenkin rakennetaan uusiinkin asuntoihin vielä melko vähän. Rakennusalan konservatiivisuudesta johtuen asiakkaiden on esimerkiksi ollut vaikea saada tietoa eri mahdollisuuksista. [5]

Kotiautomaatiomarkkinat ovat edelleen hitaasti kasvamassa. Järjestelmien korkea hinta ja vähäinen lisäarvo asumismukavuuteen ovat pitäneet ne varakkaampien luksustuotteina. Tekniikka on kuitenkin yhä kypsempää ja hinnat alenemassa, joten kotiautomaation leviäminen kaikkien saataville on odotettavissa. [6]

Tässä luvussa kerrotaan kotiautomaatiosta yleisesti, sen merkityksestä asumiseen, ja minkälainen on sen suhde yhteiskuntaan laajemmin.

2.1 Kotiautomaation kehitys

Asuminen muuttui 1900-luvulla valtavasti. Vuosisadan alussa ihmisten aika kului pitkälti asumisolosuhteiden ylläpitoon ja kotitöihin. Taloja piti lämmittää, vettä kantaa sisälle, pestä pyykkiä ja siivota. Samat menetelmät olivat olleet käytössä jo vuosisatoja. Vuosisadan loppuun mennessä teknologia oli muuttunut niin paljon, että se pystyi huolehtimaan monista asumisen perustoiminnoista, mikä näkyi ihmisten lisääntyneenä vapaa-aikana. [2]

Sähkön tulo oli ensimmäinen iso askel asumisolosuhteiden kehityksessä. Se tarjosi uuden monikäyttöisen ja siistin energianlähteen kodin tarpeisiin. Aluksi sähköä käytettiin valaistukseen, ja pian se levisi myös muihin käyttökohteisiin. Automaatiosta ei tässä vaiheessa voida vielä puhua, mutta kotien sähköistys on edellytys automaatiolaitteille. [2]

Kodinkoneet alkoivat tulla koteihin 1900-luvulla. Pesukoneet, jääkaapit, imurit, hellat ja muut laitteet helpottivat kotitöitä, ja kodin ylläpito onnistui jopa yksinkin. Toisaalta elämisen standardit nousivat, kun koteja hoidettiin enemmän, joten pelkästään vapaa-aikaan ei ajansäästö siirtynyt. [2]

Digitaalitekniikka mullisti elektroniikkaa vuosisadan loppupuolella mahdollistaen entistä älykkäämpien laitteiden kehityksen. Tietokoneet alkoivat hoitaa yhä useampia tehtäviä kasvattaen tehokkuutta kaikkialla yhteiskunnassa. Digitaalisuus näkyi myös kodeissa, kun kodinkoneet ja viihde-elektroniikka alkoivat sisältää mikrosiruja. Digitaalisuuskehitys jatkuu edelleen ja on sähkön ohella tärkeä automaation edellytys. [2]

Vielä 1900-luvun lopussakin varsinaisia kotiautomaatiojärjestelmiä oli vähän ja nekin monesti harrastajien rakentamia. Silti jo 1960-luvulla kehitettiin kotiautomaatiojärjestelmä nimeltä ECHO IV, joka pystyi ohjaamaan kodinkoneita, mutta markkinoilla menestyneitä järjestelmiä ei vuosisadan loppuun mennessä ollut. Vuonna 1984 Amerikan talonrakentajien yhdistys alkoi käyttää termiä älytalo, jolloin kaupalliset älykotijärjestelmät alkoivat herättää kiinnostusta. [2] [3]

2000-luvulla Internet teki verkkoteknologiana läpimurron ja käynnisti informaatioteknologian aikakauden. Kotiautomaatiojärjestelmille se tarkoitti aiempaa helpompaa ja yleiskäyttöisempää tapaa toteuttaa ohjausta ja hallintaa. Samaan aikaan markkinoille tuli

päätelaitteita, joita kuluttajat tottuivat käyttämään ja joita voitiin käyttää myös älykodin ohjaamiseen. [2] [3]

Kehitys on edelleen vauhdikasta, ja markkinoilla on runsaasti eri kotiautomaatiojärjestelmiä. Suuret toimijat kuten Google ja Samsung ovat lähteneet myös kehittämään omia tuotteitaan, joten kotiautomaatio tulee lisääntymään myös tavallisten kodinkoneiden älykkyyden kasvaessa.

Automaatiolla pyritään automatisoimaan toimintoja, mutta toimintatapoja tulisi myös kehittää. Moni arkinen askare suoritetaan tänäkin päivänä ikivanhoilla keksinnöillä. Esimerkiksi ruokailuvälineet ovat pysyneet samoina antiikin ajoista asti ja kodinkoneet, kuten astianpesukone, eivät perusidealtaan ole muuttuneet viidessäkymmenessä vuodessa mihinkään. Ilman merkittävää lisäarvoa automaatiojärjestelmiäkin on vaikea myydä ihmisille.

2.2 Kotiautomaatio vai älykoti

Kotiautomaatio on kehittynyt vuosikymmenten aikana, ja järjestelmien automaatioaste on kasvanut. Yksittäisten laitteiden omista säätöpiireistä on laajennuttu kaikki toiminnot käsittäviin kotiverkkoihin, ja nykyään puhutaankin jo älykodeista. Kehitys noudattelee perinteisen automaation kehitystä, jossa integraatio ja kenttälaitteiden älykkyys kasvavat. [1]

Matalimmilla tasoilla ovat yksittäiset laitteet tai itsenäisesti toimivat automaatiojärjestelmät, jotka suorittavat toimenpiteitä itsenäisesti mittausten perusteella. Esimerkiksi huonetermostaatti, tai ajastettu valaistus ovat matalan tason automaatiota. Samoin suhteellisen matalaa automaatiota edustavat pienet integroidut järjestelmät, joilla voidaan ohjata esimerkiksi yksinkertaisia päälle-pois-kytkentöjä. [1]

Korkeammalle automaatioasteelle päästään, kun laitteet saadaan kytkettyä verkkoon ja Internetiin. Verkottuneisuus mahdollistaa eri järjestelmien sujuvan seurannan ja käytön, sekä eri toimintojen yhdistelemisen. Monet markkinoilla olevat kotiautomaatiojärjestelmät mahdollistavat laitteiden verkottamisen ja toimintojen vapaan ohjelmoimisen. [1]

Korkeinta automaatioastetta edustaa termi ”älykoti”. Sanaa käytetään laajasti eri yhteyksissä, mutta pohjimmiltaan se lupaa vielä kehittyneempää automaatiota kuin perinteiset kotiautomaatiojärjestelmät. Kaikkia kodin sähköjärjestelmiä pystytään hallitsemaan, ja manuaalisten ohjausten tarve on vähäinen. Älykoti toimii ikään kuin kotiapulaishenä oppien asukkaiden tarpeita ja asumistottumuksia. Tällaista automaatiota markkinoilla on toistaiseksi vähän. [1]

Internet ja elektroniikan kehitys ovat mullistaneet myös kotiautomaatioalaa. Englannin kielessä on nykyään termi ”domotics”, joka on latinan ”domus” ja ”informatics” –

sanojen yhdistelmä. Termi kuvaa informaatioteknologian kiinteää suhdetta asumiseen ja on osoitus alan kehityksestä.

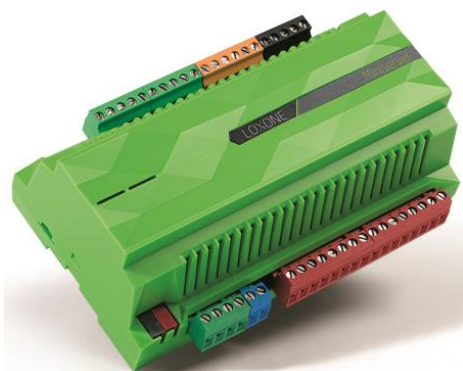
2.3 Kotiautomaatiojärjestelmät

Kotiautomaatiojärjestelmiä tarjoaa nykyään suuri joukko valmistajia, ja lähes kaikki mahdollistavat jollain tasolla LVIS-laitteiden ohjaamisen ja automatisoinnin. Järjestelmissä on yleensä keskusyksikkö, jonka kautta kodin toimintoja ohjataan, ja johon voidaan liittää erilaisia lisäosia. Valmistajat tarjoavat usein omat toimilaitteensa, jotka asennetaan esimerkiksi käsikäyttöisten venttiilien tilalle. Samoin jokaisella valmistajalla on omat ohjelmistonsa, joiden avulla järjestelmää konfiguroidaan ja käytetään.

Seuraavaksi esitellään ja vertaillaan kahta kaupallista kotiautomaatiojärjestelmää. Toisen valmistaja on melko tuore itävaltalainen yritys Loxone GmbH ja toisen jo pidempään markkinoilla ollut suomalainen Ouman Oy. Molemmat tarjoavat oman ratkaisunsa kotiautomaatioon.

Loxone Electronics on vuonna 2009 perustettu kotiautomaatioon keskittyvä yritys, jonka liikevaihto on noin 20 miljoonaa euroa, ja se on vahvasti suuntautunut tuotteidensa vientiin ympäri maailmaa. Yrityksen tuoteperheeseen kuuluu kattava valikoima laitteita kodin toimintojen ohjaamiseen. Järjestelmän ytimenä toimii kuvassa kaksi esitetty Loxone Miniserver, jolla pelkästään voi ohjata jo monia laitteita, mutta saatavilla on myös runsaasti lisäosia. [7]

Loxone Miniserver toimii 24 V tasajännitteellä, ja se kytketään kotiverkkoon LAN-portin kautta. Miniserverissä itsessään on kahdeksan digitaalista sisääntuloa, neljä analogista sisään- ja ulostuloa, kahdeksan relettä ja KNX-liitäntä. Miniserverissä pyörii Loxonen kehittämä Loxone OS, joka tarjoaa myös sisäänrakennetun web-palvelimen. [7]



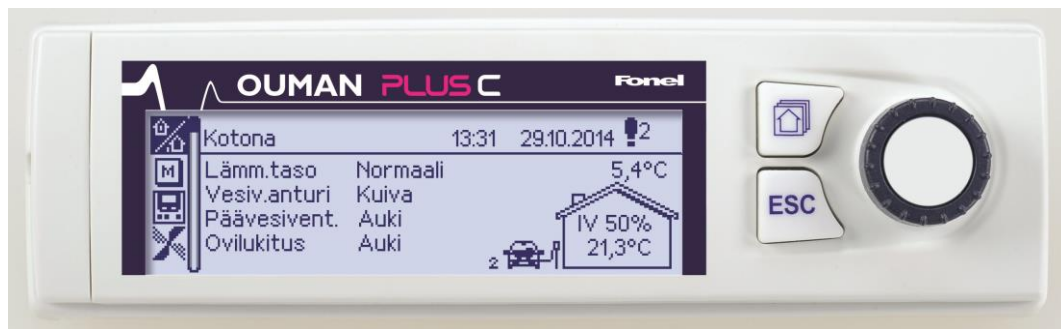
Kuva 2 Loxone Miniserver

Lisäosina Miniserveriin saa esimerkiksi suurempia releitä, langattomia kytkimiä, venttiilejä, antureita ja audiojärjestelmiä. Loxone on panostanut myös yhteensopivuuteen eri

valmistajien kanssa, joten laajennusosia löytyy muun muassa 1-Wire, IR, EnOcean, Modbus, RS-232 ja RS-485 järjestelmille. [7]

Miniserver ohjelmoidaan kunkin asennuskohteen mukaan ilmaisella Loxone Config -ohjelmistolla. Ohjelmalla johdotetaan graafisella käyttöliittymällä antureilta tulevat viestit ohjelmalohkoihin, jotka ohjaavat toimilaitteita. Ohjelmisto luo käyttöliittymän webiä ja mobiililaitteita varten automaattisesti. [7]

Ouman Oy on suomalainen kiinteistöautomaatioyritys, jonka juuret ovat jo 1980-luvulla. Liikevaihtoa yrityksellä on noin 33 miljoonaa euroa, ja sillä on toimintaa Itämeren alueella. Ouman on keskittynyt kiinteistöjen automaatioon ja energiatehokkuuteen, joihin sillä on pitkään ollut markkinoilla eri tuoteperheitä. Kotiautomaatiojärjestelmä on nimeltään Ouman Plus C, jonka käyttöpaneeli on esitetty kuvassa kolme. Tuotteen myynti on siirtynyt FSM Groupille. [8]



Kuva 3 Ouman plus C käyttöpaneeli

Ouman Plus C toimii samoilla periaatteilla kuin Loxonen Miniserver. Lähtökohtana on kuitenkin ollut kiinteistöjen lämmönsäätö, joten se näkyy tuotteen toteutusratkaisussa. Oumanin tuote toimitetaan valmiimpana pakettina kuin Loxonen, joten asennus ja käyttöönotto on helpompaa. [8]

Laitteen automaatiokeskukseen kytketään 230 V vaihtojännite. Keskusyksikössä on 16 universaalituloa, kaksi digitaalituloa, viisi analogilähtöä, neljä triac-ohjausta ja kuusi releohjausta. Keskusyksikön näyttöpaneelin voi siirtää kaapelilla haluamaansa paikkaan talossa. Näyttöpaneelin lisäksi laitetta voi ohjata mobiilikäyttöliittymillä. [8]

Oumanin vakiotoimituspaketti sisältää valmiiksi monia antureita ja laitteita, kuten valoisuusanturin, modeemin GSM-liittymällä, Ethernet-verkkosovittimen, releyksikön ja akkuvarmennuksen. Lisäksi järjestelmään saa asennettua esimerkiksi venttiileitä, koodiohisulkijoita, murtohälyttäimiä ja palovaroittimia. [8]

2.4 Kotiautomaation suhde rakennusautomaatioon

Rakennusautomaatio on kotiautomaatiota laajempi termi, jota käytetään kun puhutaan suurempien rakennusten automaatiosta. Samaa tarkoittaa myös termi kiinteistöautomaatio.

tio, ja molemmat kuuluvat talotekniikka-termin sisälle. Rakennusautomaatio on osa nykypäivän rakentamista, ja sillä vaikutetaan muun muassa rakennuksen sisäilmastoon, valaistukseen ja turvallisuuteen. [9] [1]

Rakennusautomaatio muistuttaa hyvin paljon perinteistä automaatiota, jossa ohjataan jotain prosessia. Mittausdataa kerätään antureilta, ja prosessitietokone hoitaa toimilaitteiden ohjauksen, jotta haluttu lopputulos saadaan aikaiseksi. [9] [1]

Erilaiset automaatiotasot näkyvät myös rakennusautomaatiossa. Ylimpänä on hallinto- ja raportointi, keskellä on säätö ja automaatio, ja alimpana ovat anturit ja toimilaitteet. Ylin taso on rakennusta hallinnoivien ihmisten käyttöliittymä automaatiojärjestelmään, jonka kautta järjestelmän toimintaa ja kuntoa voidaan tarkkailla ja ohjata. Keskitasolla on automaatio-osa, johon kenttälaitteet on kiinnitetty, ja josta on yhteys ylemmälle tasolle. Alimmalla tasolla tapahtuu varsinainen toiminta, eli antureiden mittaukset ja toimilaitteiden ohjaukset. Laitteiden määrä kasvaa automaatiotasolla alaspäin mentäessä. [9] [1]

Isoissa rakennuksissa käytettävät rakennusautomaatiojärjestelmät ovat siihen tarkoitukseen tehtyjä teollisuustuotteita. Järjestelmien hankkiminen ja asentaminen vaatii hyvää suunnittelua ja yhteistyötä LVI-toimittajien kanssa, koska automaatiokentän monipuolisuus ja monialaisuus tekevät kokonaisuuden hallinnasta haastavaa. [9]

Kotiautomaatio on rakennusautomaation näkökulmasta pienemmän mittakaavan rakennusautomaatiota, jolla on omat erityispiirteensä. Molempien päämäärä on sama, ja molemmilla ohjataan samanlaisia toimintoja. Sekä kotiautomaatiossa, että rakennusautomaatiossa on havaittavissa samanlaisia kehityskulkuja kohti integroituneempaa ja älykkäämpää automaatiota. [9] [1]

Suurin ero termien välillä on ihmisrajapinnassa. Kotiautomaatiossa mukavuus on erityisen tärkeää, ja käytön pitää olla helppoa ja intuitiivista. Rakennusautomaatiossa tiloja käyttävät henkilöt eivät välttämättä koskaan joudu tai saa edes muuttaa asetuksia. Muutokset tekee koulutettu huoltaja, joten käyttöliittymältä ei vaadita samanlaista helppokäyttöisyyttä kuin kotiautomaatiossa. [9] [1]

Toinen ero on toteutusteknologioiden välillä. Isoissa rakennuksissa on perinteisesti käytetty standardoituja protokollia ja pienemmissä enemmän valmistajakohtaisia ratkaisuja. Kotiautomaatiossa ohjattavat laitteet ovat lisäksi kuluttajakäyttöön suunniteltuja kodinkoneita, kun taas rakennusautomaatiossa monesti teollisuuskoneita. Isojen rakennusten isot laitemäärät ja suurempi budjetti muodostavat myös erilaiset lähtökohdat järjestelmille. [9] [1]

2.5 Kotiautomaatio osana rakennusala

Talotekniikan osuus rakentamisesta on kasvanut nopeasti, ja sen osuus rakennuskustannuksista voi olla jopa puolet. Kotiautomaatio kuuluu rakentamisessa sähkösuunnittelun ja -asennuksen piiriin, mutta sitä kaupataan usein lisävarusteina sähköasennusten ohessa. Kotiautomaatio tuo rakentamiseen uusia mahdollisuuksia, vaikka haasteita ja ongelmiaakin on. [1]

Kotiautomaatiojärjestelmä hankitaan ja asennetaan sähköasennusten yhteydessä. Kuluttajat saavat tietoa kotiautomaatiojärjestelmistä pääasiassa asuntomessuilta ja Internetistä, jonka jälkeen tavallisesti kysytään sähkösuunnittelijalta ja urakoitsijalta tarjous. Kotiautomaatiojärjestelmän toteuttamisen onnistuminen on hyvin paljon kiinni sähkösuunnittelijasta ja urakoitsijasta, koska yritykset ovat monesti pieniä ja perehtyneisyys alaan vaihtelee. [1]

Kotiautomaatio antaa uusia mahdollisuuksia kiinteistön rakentamisen, käytön ja ylläpidon kannalta. Laitteiden toimintaa on helpompi seurata, ja huoltotoimenpiteitä pystytään ennakoimaan. Lisäksi esimerkiksi tulipaloilta suojautumisessa voidaan nykyään käyttää talotekniikkaa ja simulointia hyväksi, mikä vähentää tarvetta kalliille taulukoihin perustuville rakenneratkaisuille. Tällaisesta suunnittelusta käytetään nimeä toiminnallinen paloturvallisuussuunnittelu. [10]

Rakennusalan kannalta kotiautomaatiossa on myös paljon haasteita. Erilaisten standardien kirjo ja eri lähestymistavat aiheuttavat ongelmia laitteiden yhteensovittamisessa. Urakoitsijoilta ei voida odottaa kaikkien järjestelmien tuntemusta, joten asennus voi olla ongelmallista, varsinkin jos ei ole aikaa perehtyä ohjeisiin. Laitteiden nopea kehitys tarkoittaa usein myös nopeaa vanhenemista sekä lyhyttä elinkaarta. Varaosien saanti vanhoihin laitteisiin voi olla jopa mahdotonta. [4]

Kotiautomaatioprojektissa onnistuminen vaatii hyvää suunnittelua ja automaation huomioon ottamista riittävän aikaisessa vaiheessa. Suunnittelijan asiantuntemus on hyvä varmistaa tarkistamalla esimerkiksi olemassa olevat sertifikaatit. Laitteiksi kannattaa valita tunnettuja ja standardeihin perustuvia ratkaisuja lastentautien välttämiseksi. Järjestelmä on syytä suunnitella käyttövarmuus edellä, eikä kiinnitä huomiota liikaa hienoihin ominaisuuksiin. Kaiken kaikkiaan saumaton yhteistyö suunnittelijan ja urakoitsijan kanssa varmistaa projektin sujuvan etenemisen ja säästää monelta yllätykseltä. [5]

2.6 Kotiautomaatiomarkkinat

Kotiautomaatio on yleistymässä, ja markkinat kasvavat maailmanlaajuisesti. Suomessakin järjestelmiä on myyty jo pitkään, mutta mikään toimija ei ole hallitsevassa asemassa Suomen markkinoilla. Parhaiten myyvät laitteet, joilla saadaan selkeää hyötyä, esimerkiksi säästöjä tai turvallisuutta. Kaikkia kotiautomaation hyötyjä on vaikea mitata suo-

raan rahallisesti, eikä lainsäädäntökään ohjaa tarpeeksi hyödyntämään kotiautomaatiota rakennusprojekteissa. [11]

Maailman kotiautomaatiomarkkinoiden arvo vuonna 2013 oli noin 4,4 miljardia dollaria, ja sen arvioidaan kasvavan noin 21 miljardiin dollariin vuoteen 2020 mennessä. Puolet markkina-arvosta tulee tällä hetkellä Pohjois-Amerikasta ja loput kaksi neljänestä Euroopasta ja Aasiasta. [6]

Kotiautomaatiomarkkinat kasvavat tarpeista hallita kodin laitteita, kuten ilmastointia, valaistusta, turvallisuutta ja viihdettä. Suosituimpia ovat turvallisuusjärjestelmät, joiden ennustetaan säilyttävän asemansa myös tulevaisuudessa. Lisäksi Internetin leviäminen maailmalla ja älypuhelimien yleistymisen kasvattavat markkinoita. [6]

Keskeisimmät haasteet kotiautomaatiomarkkinoilla ovat myynnissä, suunnittelussa ja asennuksessa. Hinnat koetaan vielä korkeina, minkä takia investointikynnys on suuri. Markkinoilla on useita pieniä toimijoita, jotka käyttävät eri teknologioita, joten suunnittelijoilla ja urakoitsijoilla ei ole kiinnostusta opetella niitä kaikkia eikä myöskään markkinoita. [11]

Lainsäädännöllä voidaan vaikuttaa rakennuskäytäntöihin monella tavalla, josta hyvänä esimerkkinä ovat nykyiset energiatodistukset, jotka ohjaavat lämmitysmuodon ja rakenteiden valinnassa. Tällä hetkellä määräykset eivät ohjaa tai kannusta rakentajia hyödyntämään kotiautomaatiojärjestelmiä, vaikka asukkaiden kulutustottumukset vaikuttavat energian kulutukseen merkittävästi. Kotiautomaatiojärjestelmillä pystyttäisiin keräämään tietoa kulutuksesta ja ohjaamaan asukkaita energiatehokkaaseen laitteiden käyttöön. [12]

3. ANTUROINTI

Anturit ja mittaaminen ovat välttämätön osa kotiautomaatiota. Ohjattavista toiminnoista lähes jokainen tarvitsee ohjauksen tueksi tietoa systeemin nykytilasta tai historiasta. Antureita tarvitaan paljon, mikä aiheuttaa haasteita niiden ominaisuuksille, sijoittelulle ja huollolle. Anturitekniikan kehitys on tuonut entistä pienemmät, halvemmat ja vähävirtaisemmat anturit myös kotiautomaatioalalle.

Anturit mahdollistavat erilaisten arvojen mittaamisen, jolloin ohjauspäätökset voidaan tehdä todellisuuteen pohjautuen. Tieto talon olosuhteista on myös arvokasta tietoa talon käyttäjälle. Perinteinen automaationäkökulma mittaamiseen on takaisinkytkennän mahdollistaminen. Sen sijaan, että otetaan useita systeemiin vaikuttavia tekijöitä huomioon säätöä suunnitellessa, voidaan itse systeemin tilaa mitata ja ohjata säätöä sen mukaan. [13] [14]

Kotiautomaatio on monipuolinen prosessi, jossa tarvitaan useita erilaisia mittauksia. Mitään yleistä standardia älykotitermin täyttävälle mittauksille ei ole, mutta tietyt perussuureet tulevat aina esiin älykodeista puhuttaessa. Näitä ovat muun muassa lämpötila, kirkkaus ja liike. Pelkästään niiden avulla pystytään säätämään jo tilan lämmitystä, valaistusta ja turvallisuutta. [15]

Käytännössä anturointi on tänä päivänä vielä melko sekavaa. Lähes jokainen kotiautomaatiojärjestelmiä tarjoava yritys toimittaa omat anturinsa ja säätimensä, vaikka perustarpeet ja komponentit ovat kaikilla samat. Talon rakennuttajasta riippuu mihin tiloihin asennetaan mitäänkin antureita, ja myöhemmin päivittäminen tai muuttaminen on hankalaa. Yleinen standardi ja lainsäädäntö talo- ja huonekohtaisista antureista auttaisi asiaa. [11] [1]

Markkinoilla on muutamia henkilön tunnistamiseen soveltuvia tekniikoita, sekä useita antureita yhdistäviä anturipaketteja. Näistä esimerkkeinä Applen iBeacon sekä Aeotecin MultiSensor 6. Kovin laajalle nämäkään eivät ole toistaiseksi yleistyneet, mutta suuryrityksiltä voi odottaa kovempaa panostusta markkinointiin. [16] [17]

Esineiden Internetiä on ennustettu Internetin seuraavaksi isoksi kehitysasteleeksi. Yhä useammasta laitteesta löytyy Internet-tuki, joka mahdollistaa viestinvälityksen ja yhteistoiminnan isompien kokonaisuuksien kanssa. Esineiden Internetillä on iso merkitys myös kotiautomaatiolle, koska yhteinen tietoverkko helpottaa toimintojen integraatiota. [18]

Automaation integraatio on yleinen trendi automaatioalalla. Se tarkoittaa toisaalta toimintojen ja automaatiotasojen yhdistymistä isommiksi kokonaisuuksiksi, ja toisaalta pienempiä hajautetumpia älykkäitä laitteita. Integraatiota on nähtävissä myös kotiautomaatiossa, ja esineiden Internet on yksi osa integraatiota. [19] [20]

Tässä luvussa kerrotaan antureista osana kotiautomaatiojärjestelmää, kotiautomaatioantureiden markkinatilanteesta, sekä tämän hetken trendeistä anturoinnissa.

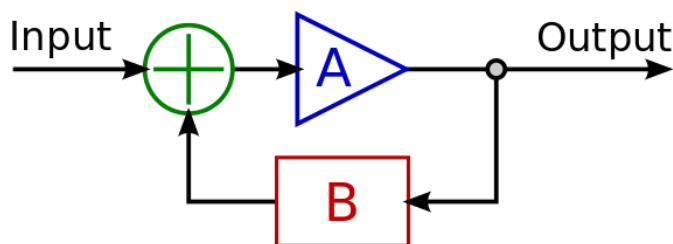
3.1 Anturoinnin hyödyt

Anturi on laite, joka tuottaa signaalin mitattavasta fyysisestä suureesta tai tilasta. Anturipakkauksessa on tuntoelin, joka aistii mitattavaa kohdetta, ja jossa informaatioheräte syntyy. Heräte voidaan sitten muuntaa sähköiseksi signaaliksi. Aina haluttua suurta ei voida mitata suoraan, vaan joudutaan käyttämään useita välivaiheita. Esimerkiksi paineanturissa on taipuva kalvo, jonka venymän mittaamisella saadaan selville paine. [13]

Antureiden tuottama informaatio on jo itsessään tärkeää kotiautomaatiossa. Tieto energiankulutuksesta, lämpötilasta ja turvallisuudesta vaikuttavat asukkaiden asumistottumuksiin ja auttavat saamaan kokonaiskuvaa talon toiminnasta. Kodin etävalvonta on merkittävä turvallisuustekijä monessa asiassa.

Automaation kannalta anturoinnin suurin hyöty on säädön apuna toimiminen. Ilman mittauksia toimilaitteita voidaan ohjata korkeintaan ajan ja päivämäärän mukaan tai esiasetetulla syklillä. Antureiden avulla voidaan ottaa eri tekijöitä huomioon. Esimerkiksi valot voivat syttyä liikkeen mukaan, lämmitys säätää ulkolämpötilan mukaan ja niin edelleen. [14]

Paras säätötulos saavutetaan takaisinkytkennällä. Vaikka ottaisi kuinka ison määrän tekijöitä tahansa huomioon, aina on lisätekiöitä jotka häiritsevät säätöä. Esimerkiksi sisälämpötilaan vaikuttaa ulkolämpötila, tuuli, kosteus ja monet muut tekijät. Ratkaisu on mitata sisälämpötilaa ja ohjelmoida termostaatti säätämään lämmitystä vastaamaan haluttua asetusarvoa. Takaisinkytkennän perusidea on esitetty kuvassa neljä. [14]



Kuva 4 Takaisinkytkennän periaate

Kuvassa mittausrvo B tuodaan takaisin säätimeen (+), jossa asetusarvon ja mittausrvon erosuure ohjaa toimilaitetta A.

3.2 Kotiautomaatiossa tarvittavat mittaukset

Kotiautomaatio eroaa perinteisestä automaatioprosessista monella tavalla. Perinteisen automaation tavoin kotiautomaatiossa pyritään vähentämään tarvetta rutiininomaisille töille, mutta lisäksi kotiautomaatiossa keskitytään olosuhteiden optimointiin ja viihtyisyyden parantamiseen. Tarvittavien mittausten määrittäminen on monimutkaisempaa ja riippuu siitä kuinka paljon automaatioon halutaan panostaa.

Kotiautomaatiolla halutaan tavallisesti energiansäästöä, turvallisuutta, asumismukavuutta ja viihdettä. Tarvittavia mittauksia näiden tavoitteiden saavuttamiseksi ovat yleensä lämpötila, kirkkaus ja liike. Antureiden lukumäärä riippuu halutusta ohjaustarkkuudesta. Pienin tarkkuus on koko talo, jolloin antureita tarvitaan vain yhdet kutakin. Suureen tarkkuuteen päästään, kun jokaiseen tilaan asennetaan omat anturinsa. [15]

Yleistä standardia perusmittauksille ei ole määritetty. Jotkin yritykset, kuten Loxone GmbH ovat määritelleet oman minimitasonsa älykodissa tarvittaville mittauksille. Loxone suosittelee asentamaan perusanturit jokaiseen huoneeseen, jolloin saavutetaan huonekohtainen tarkkuus mittauksille. [15]

Muita hyödyllisiä antureita ovat esimerkiksi ikkuna- ja ovi-ilmaisimet, vesivuotoanturit, ilmankosteusanturit, pinnankorkeusanturit, sekä sade- ja tuulianturit. Antureita on olemassa paljon erilaisia ja mahdollisuuksia on rajattomasti. Paljon onkin kiinni suunnittelusta ja halutusta automaation tasosta. [15]

3.3 Anturointi osana kotiautomaatiojärjestelmää

Antureiden käyttö kotiautomaatiojärjestelmän osana on hyvin valmistajariippuvaista. Pohjimmiltaan anturit ovat yksinkertaisia laitteita eikä niiden asennus tai käyttö vaadi erikoisjärjestelyjä, mutta monesti kotiautomaatiojärjestelmän mukana toimitettavat anturit ovat valmistajien räätälöimiä ratkaisuja, joissa käytetään omia liittimiä ja protokollia. [11]

Yksinkertaisimpia antureita ovat esimerkiksi ikkuna- ja ovi-ilmaisimet, jotka kertovat vain sen, ovatko ne auki vai kiinni. Periaatteessa minkä tahansa ilmaisimen voi kytkeä mihin tahansa tuloja ja lähtöjä tarjoavaan kotiautomaatiojärjestelmään.

Hankalammin liitettäviä ovat anturit, jotka eivät tarjoa sähköistä signaalia suoraan, vaan koodattuna jollain protokollalla. Standardoituja protokollia ovat esimerkiksi UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), 1-Wire, RS-232 ja TCP (Transmission

Control Protocol). Valmistajalla saattaa olla käytössä myös täysin oma protokolla, jonka liitettävyyden muihin järjestelmiin on usein heikko.

Lainsäädäntö ei tällä hetkellä vaadi asuinrakennuksiin kotiautomaatiota mahdollistavia antureita. Niinpä talon anturointi on rakennuttajan vastuulla, ja kotiautomaatiototeutukset ovat erittäin kirjava joukko erilaisia järjestelmiä. [12]

3.4 Markkinoilla olevia antureita

Kotiautomaatiolaitteita ja -antureita tulee markkinoille jatkuvasti lisää. Henkilöiden tunnistaminen kotiautomaatiossa on nykyään vielä harvinaista, vaikka tunnistukseen on olemassa monia melko kypsiä teknologioita. Useita antureita yhdistäviä anturipaketteja ei myöskään ole yleisesti käytössä.

Apple on julkaissut sisätilapaikannuksen mahdollistavan iBeacon-protokollan, jota voidaan käyttää esimerkiksi liiketiloissa asiakkaiden opastukseen ja mainontaan. Yksisuuntaisena menetelmänä henkilöiden tunnistaminen ei sillä suoraan onnistu. Useat valmistajat ovat tuoneet markkinoille omia toteutuksiaan iBeacon-teknologiasta. Kuvassa viisi on Estimoten majakka. [16]

iBeacon-protokolla käyttää Bluetooth low energy -teknologiaa, joten se on nopea ja virtapihi. Etäisyys ilmoitetaan kolmella asteella: välittömässä läheisyydessä (muutama senttimetri), lähellä (muutama metri) ja kaukana (yli kymmenen metriä). Lisäksi voidaan päätellä onko käyttäjä tulossa anturia kohti vai menossa pois päin. [16]

iBeacon on Applen kehittämä ja tuki sille on löytynyt jo iPhone 4S-versiosta lähtien. Android-laitteille löytyy iBeacon sovelluksia ja toteutuksia, mutta Apple on suhtautunut kielteisesti protokollansa levittämiseen. Google ja Android ovat tahollaan panostaneet enemmän NFC-lähitunnistukseen (Near Field Communication). [16] [21]



Kuva 5 Estimote iBeacon-majakka

Anturipaketteja, joissa yhdistetään useita antureita, valmistaa esimerkiksi Aeotec. MultiSensor 6 on monitoimianturi, jossa on kuusi erilaista mittalaitetta. Näitä ovat liiketunnistin, lämpömittari, kirkkausanturi, kosteusanturi, värinäanturi ja UV-anturi. [17]

Virtalähteenä käytetään paristoja, joiden käyttöiäksi luvataan jopa kaksi vuotta, tai vaihtoehtoisesti verkkovirtaa. Anturi toimii langattomasti yhdessä muiden Z-Wave-laitteiden kanssa. [17]

3.5 Esineiden Internet

Esineiden Internet tai teollinen Internet (englanniksi The Internet of Things) tarkoittaa laitteita, jotka pystyvät kommunikoimaan verkon välityksellä. Suurin hyöty tästä on silloin, kun laitteet tarjoavat tietoa toiminnastaan ja auttavat näin parantamaan sitä. Esimerkiksi antureiden ja toimilaitteiden kuntotiedoilla pystytään ennakoimaan vikaantumisia ja huoltoja. Haaste esineiden Internetin käytössä on suuren datamäärän käsittely ja jalostaminen. [22] [18]

Kotiautomaation kannalta esineiden Internet tarkoittaa lisääntyviä mahdollisuuksia automatisoida yhä useampia toimintoja. Laitteet pystyvät esimerkiksi kertomaan kunnostaan, muistuttelemaan eri asioiden loppumisesta tai tarkkailemaan asukkaiden terveydentilaa. Antureita voidaan sijoittaa pienimpiinkin paikkoihin tai esineisiin, jolloin avautuu ennennäkemättömiä mahdollisuuksia mitä mielikuvituksellisimmille toiminoille. [18]

Mahdollisuuksia kytkeä laite Internetiin on monia. Vanhin ja luotettavin on kiinteä Ethernet-kaapeliyhteys reitittimeen, joka on edelleen suosittu kiinteissä asennuksissa. Langattomista vaihtoehdoista paljon käytetty on WiFi-verkko, jota lähes kaikki reitittimet, puhelimet ja langattomat laitteet tukevat. Lisäksi esimerkiksi anturiratkaisuissa käytetään paljon Bluetoothia, jonka suosio on kasvanut Bluetooth low energy -standardin myötä. Varsinaisesti Bluetooth ei ole Internet-verkko, koska sen protokollat ovat erilaisia, mutta sitä käytetään apuna esineiden Internetissä. Lisäksi on olemassa monia vähemmän tunnettuja ja valmistajien omia ratkaisuja.

Internet-kykyisten laitteiden määrä on lisääntymässä, ja ne tuottavat paljon informaatiota verkkoon. Jatkuvasti kasvanut laitteiden määrä on aiheuttanut paineita Internetin IPv6-osoitteiston käyttöönotolle, koska IPv4-osoitteet ovat lopussa. Samoin valtavasti lisääntynyt datamäärä aiheuttaa ongelmia tallennustilan riittävyyden suhteen. Itsenäiset ohjelmat ja algoritmit eli botit käyttävätkin Internetiä jo enemmän kuin ihmiset. [23]

3.6 Automaation integraatio

Automaation integraatio on automaatioalalla vaikuttava kehityssuuntaus. Tarkoituksena integraatiossa on yhdistää eri automaatiotasojen laitteiden tiedonkulkua, ja toisaalta ha-

jauttaa laitteita pienemmiksi ja älykkäämmiksi yksiköiksi. Osana integraatiota vaikuttaa tekniikoiden standardointi ja yleistyvä esineiden Internet. [19]

Teollisuudessa integraatio näkyy käytännössä esimerkiksi ISA-95 standardina, joka on moniosainen menetelmä rajapintojen luomiseen eri järjestelmien välille. Toinen standardi on UML, jota käytetään erityisesti ohjelmistosuunnittelussa helpottamaan määrittely- ja suunnittelutyötä. [19]

Rakennusautomaation ja kotiautomaation kannalta integrointi tarkoittaa tietojärjestelmien yhdistämistä, tehokkuutta, joustavuutta ja kustannussäästöjä. Parhaimmillaan kömpelöistä rakennus- ja valmistajakohtaisista ratkaisuista voidaan päästä aidosti yhteensopiviin järjestelmiin, joita pystyy helposti muuttamaan tulevaisuudessakin. Tavoite saavutetaan avoimilla ja laajasti käytetyillä tiedonsiirtomediailla, laitteilla ja ohjelmitoilla. Hyvä integraatiolopputus näkyy esimerkiksi käytön ja muutosten tekemisen helppoutena, laajennettavuutena, sekä mahdollisuutena käyttää eri valmistajien laitteita. [20]

4. TYÖN VAATIMUSMÄÄRITTELY

Suunnittelu aloitettiin tutkimusongelman pohjalta aiheeseen perehtymällä ja taustatietojen hankkimisella. Suuri painoarvo oli sopivan tunnistusteknologian löytämisessä, joten eri vaihtoehtoja mietittiin pitkään. Työlle määritettiin tarvittavat vaatimukset ja aihe rajattiin halutusti, jotta keskittyminen pysyisi olennaisessa ja projekti aikataulussa.

Työn suunnittelu oli hyvin samankaltaista perinteisen automaatio-suunnittelun kanssa, joten automaatioalan suunnittelumenetelmiä voitiin käyttää hyödyksi. Niinpä projektille tehtiin soveltuvien osien vaatimusmäärittely, UML-kaaviot ja arkkitehtuurisuunnittelu. Projekti eteni määrittelyvaiheesta suunnitteluvaiheen kautta toteutusvaiheeseen iteraatiotyypillisesti tarpeen mukaan edellisiin vaiheisiin palaten.

Tässä luvussa kuvataan työn suunnittelun vaiheet vaatimusmäärittelyn avulla eri vaatimustapauksin jaoteltuna ja esitetään laitteen toiminta UML-kaavioilla.

4.1 Vaatimukset

Tutkimusongelman mukaan nykyiset anturointimenetelmät eivät tarjoa riittävän halpaa, helppoa, liitettävää ja kattavaa anturointia. Antureita tarvitaan paljon, ja jokaiselta anturilta joudutaan vetämään johdot automaatiojärjestelmään. Tämä on monimutkaista, kömpelöä ja ennen kaikkea kallista.

Laitteelle asetettiin lukuisia vaatimuksia eri näkökulmista, ja kokonaisuus saattaakin vaikuttaa hankalalta toteuttaa, mutta monet ongelmista ratkeavat samalla ratkaisulla. Esimerkiksi langattomuus vähentää monimutkaisuutta ja kasvattaa samalla liitettävyyttä sekä alentaa hintaa.

Laitteen halutaan ratkaisevan tutkimusongelma, joten laitteen tulisi olla pieni, halpa, monipuolinen ja liitettävä. Nämä yleiset vaatimukset määrittävät reunaehdot tarkemmille vaatimuksille, joita asetettiin laitteen käytettävyydelle, fyysisille ominaisuuksille, mittauksia suorittaville antureille, sekä sähköisille ominaisuuksille ja tietoturvalle.

4.1.1 Käytettävyyden vaatimukset

Käytettävyydellä tarkoitetaan laitteen käyttäjän käyttökokemusta. Käyttäjä voi olla tilanteen mukaan esimerkiksi asentaja tai asukas, joiden roolit eroavat toisistaan ja vaatimukset ovat erilaiset. Jokaiselle tulisi taata helppo, hyödyllinen ja turvallinen käyttökokemus.

Laitteen tulisi olla helposti asennettava ja käyttöön otettava. Laitteen asentamisessa ei tarvita erikoistyökaluja ja talon rakenteisiin ei jouduta tekemään muutoksia. Pitkiä ja monimutkaisia konfigurointeja ei tarvitse, vaan yksinkertainen parametrien asettaminen riittää. Käyttöön oton helppous määrittää pitkälti sen, minkä mielikuvan käyttäjä laitteesta saa.

Laitteen käytön tulisi olla vaivatonta. Koska kyseessä on passiivisesti taustalla toimiva anturilaitte, ei sen pidä vaatia käyttäjältä toimenpiteitä normaalitoiminnassa. Laite ei saa myöskään häiritä käyttäjää kirkkailla valoilla tai äänillä. Käyttäjän ei tarvitse kantaa mukanaan mitään ylimääräistä lisälaitetta henkilöntunnistuksen mahdollistamiseksi.

Laitteen täytyy olla riittävän toimintavarma, jottei käyttäjän toimenpiteitä vaadita, ja automaatiojärjestelmä saa luotettavasti mittauksia. Riittävä toimintavarmuus voidaan katsoa olevan silloin, kun käyttäjä unohtaa laitteen olemassaolon.

Laitteen tulisi olla turvallinen, jotta se ei aiheuta esimerkiksi sähköiskua tai tulipaloa. Mittausten oikeellisuus on myös turvallisuusvaatimus automaatiojärjestelmän jatko-toimenpiteiden kannalta.

4.1.2 Fyysiset vaatimukset

Fyysisillä vaatimuksilla tarkoitetaan laitteen ulkoisia ominaisuuksia, jotka yhdessä käytettävyyksivaatimusten kanssa muodostavat käyttäjän kannalta merkittävät vaatimukset.

Laitteen koon tulisi olla riittävän pieni, jotta se sulautuu ympäristöönsä. Automaatiolaitteen ei haluta vievän tilassa huomiota, ja mitä pienempi se on, sitä helpompi se on sijoittaa ja asentaa. Asennuspaikka laitteelle on katto, tai ylhäällä seinässä. Lisäksi tarvitaan pistorasia.

Eräs nykyisten kotiautomaatioratkaisujen suurimpia ongelmia on liitettävyyden puute. Laitteen tulisi olla helposti kytkettävissä minkä tahansa laiteomittajan kotiautomaatiojärjestelmään, ja laitteen välittämät signaalit tulisi olla helposti tulkittavissa.

Käytettävä liitäntäteknikka tulee olla yleisesti käytössä nyt ja tulevaisuudessa, ja langattomana ratkaisuna laitteen kantamatkan tulee olla riittävä huoneistokäytössä.

4.1.3 Anturivaatimukset

Anturien ehdottomasti suurin vaatimus on mittauksen luotettavuus. Lämpötila ja kirkkaus ovat analogisia suureita, joiden mittaus on erittäin virheherkkää ja vaatii huolellista suunnittelua. Esimerkiksi lämpötilan mittaukseen vaikuttaa paljon anturin sijainti ja laitteen tuottama oma lämpö, joka tulee kompensoida jännitetasoa tulkittaessa.

Toinen vaatimus antureille on hinta. Koska laitteen halutaan olevan halpa, eivät anturikaan saa maksaa paljon. Lämpötilan, kirkkauden ja liikkeen osalta hinta ei ole ongelma, koska nämä anturit ovat halpoja, mutta henkilön tunnistukseen soveltuva teknologia maksaakin jo huomattavasti enemmän.

Automaatiolaitteena tärkeä vaatimus antureille on reaaliaikaisuus. Laitteen mittaustiedot täytyy välittää tietyn aikaikkunan sisällä automaatiojärjestelmälle, jotta niiden hyötyarvo säilytetään. Kriittisin tieto on tilassa olevien henkilöiden tunnistus, jonka täytyy tapahtua tarpeeksi nopeasti, eli maksimissaan noin viiden sekunnin viiveellä. Reaaliaika-termein kuvattuna laitteella on siis isokronisia ominaisuuksia, mutta reunat ovat pehmeät.

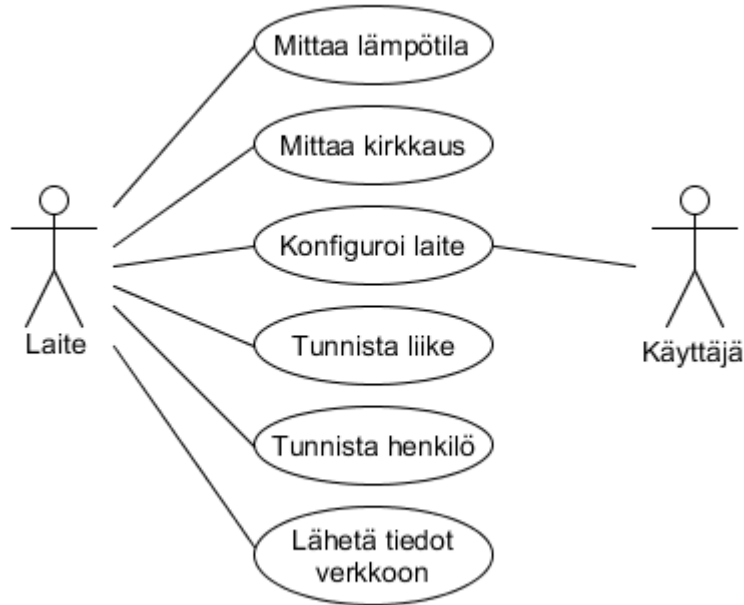
4.1.4 Sähköiset vaatimukset ja tietoturva

Sähköiset vaatimukset sisältävät laitteen tehonkulutuksen, radioiden säteilyvaatimukset, piirin lämpenemisen ja sähköturvallisuuden. Laitteelta ei tässä versiossa vaadita akkutoimintaisuutta, joten virrankulutusta ei tarvitse kovin tarkasti optimoida. Radiot ovat kolmannen osapuolen laitteita, joten työssä oletetaan, että ne täyttävät viranomaisen asettamat vaatimukset. Sen sijaan hyvä sähköturvallisuus ja luotettava piirin toiminta on otettava huomioon laitetta suunniteltaessa.

Verkottuneiden laitteiden tietoturva on noussut tärkeäksi tänä päivänä. Laite on reitittimen palomuurin kautta välillisesti yhteydessä Internetiin, joten laitetta suunniteltaessa on pidettävä huolta, ettei se aiheuta merkittävää tietoturvariskiä. Tietoturvariskinä pidetään esimerkiksi yksityiskohtaisten talon mittaustietojen leviämistä ulkopuolisille.

4.2 UML-käyttötapaukset

UML on graafinen kuvauskieli järjestelmän tai ohjelman rakenteen ja käyttäytymisen mallintamiseen. Laitteen rakenteesta ja käytöstä laadittiin kokonaisuutta selventävä käyttötapauskaavio, joka on esitetty kuvassa kuusi. Käyttötapauksia on kuusi: mittaa lämpötila, mittaa kirkkaus, konfiguroi laite, tunnista liike, tunnista henkilö ja lähetä tiedot verkkoon.



Kuva 6 Käyttötapauskaavio

Käyttötapaus: Mittaa lämpötila

Suorittajat: Laite

Esiehdot: Laite on päällä, toimintakunnossa ja yhdistettynä WLANin kautta kotiautomaatiojärjestelmään.

Kuvaus: Laite käyttää anturia lämpötilan mittaamiseen ja muuntaa tuloksen ohjelmallisesti lämpötila-arvoksi.

Poikkeukset: Lämpötila on mittausalueen ulkopuolella, jolloin lämpötilan sijasta näytetään virheilmoitus.

Lopputulos: Oikea lämpötila saadaan mitattua ja muunnettua luettavaan muotoon.

Käyttötapaus: Mittaa kirkkaus

Suorittajat: Laite

Esiehdot: Laite on päällä, toimintakunnossa ja yhdistettynä WLANin kautta kotiautomaatiojärjestelmään.

Kuvaus: Laite käyttää anturia kirkkauden mittaamiseen.

Poikkeukset: -

Lopputulos: Oikea kirkkaus saadaan mitattua.

Käyttötapaus: Konfiguroi laite

Suorittajat: Laite, käyttäjä

Esiehdot: Laite on päällä ja toimintakunnossa. Käyttäjä on laitteen toiminta-alueella ja konfigurointisovellus on avattuna.

Kuvaus: Käyttäjä skannaa lähellä olevat laitteet ja yhdistää oikeaan laitteeseen. Käyttä-

jä muuttaa haluamiaan arvoja ja painaa tallenna-painiketta. Muutokset päivittyvät uudeleenkäynnistämällä laite.

Poikkeukset: Bluetooth-yhteys käyttäjän ja laitteen välillä katkeaa, jolloin laitteen ohjelmisto ja konfigurointisovellus sulkevat yhteyden. Sovellus palaa pääruutuun.

Lopputulos: Halutut arvot saadaan konfiguroitua.

Käyttötapaus: Tunnista liike

Suorittajat: Laite

Esiehdot: Laite on päällä, toimintakunnossa ja yhdistettynä WLANin kautta kotiautomaatiojärjestelmään.

Kuvaus: Liiketunnistin aktivoituu ja ilmoittaa laitteelle jänniteviestillä liikkeestä. Laitteen ohjelman keskeytyskutsu käynnistää toimenpiteen, eli lähettää tiedon kotiautomaatiojärjestelmälle.

Poikkeukset: -

Lopputulos: Laite reagoi liikkeeseen.

Käyttötapaus: Tunnista henkilö

Suorittajat: Laite

Esiehdot: Laite on päällä, toimintakunnossa ja yhdistettynä WLANin kautta kotiautomaatiojärjestelmään.

Kuvaus: Laitteen Bluetooth-piiri tunnistaa lähelle tulleen Bluetooth-laitteen ja välittää sen MAC-osoitteen pääohjelmalle. Pääohjelma välittää tiedon kotiautomaatiojärjestelmälle.

Poikkeukset: Tiedonsiirtoyhteydessä tapahtuu virhe, jolloin käyttäjän tunnistus epäonnistuu.

Lopputulos: Käyttäjä saadaan tunnistettua.

Käyttötapaus: Lähetä tiedot verkkoon

Suorittajat: Laite

Esiehdot: Laite on päällä, toimintakunnossa ja yhdistettynä WLANin kautta kotiautomaatiojärjestelmään.

Kuvaus: Laitteen pääohjelma lähettää halutut tiedot WLAN-yhteyden kautta TCP-protokollalla kotiautomaatiojärjestelmälle.

Poikkeukset: Yhteys katkeaa tai tiedonsiirto epäonnistuu, jolloin tiedot eivät välity järjestelmälle.

Lopputulos: Tiedot saadaan lähetettyä kotiautomaatiojärjestelmälle.

5. TOTEUTUSTEKNOLOGIAT

Laite koostuu useasta eri komponentista, joiden teknologiavalinnat voitiin tehdä pitkälti komponenttikohtaisesti, mutta niiden täytyi silti täyttää tietyt reunaehdot. Valittu teknologia määrää laitteen kehitykseen tarvittavat menetelmät ja työkalut, joten jatkon onnistumisen kannalta teknologiavalinnalla on iso merkitys. Hyvä teknologia sallii riittävän liikkumavaran suunnitelmia toteutettaessa, mutta ei ole liian yksityiskohtainen, jolloin turhaa aikaa kuluu sivuseikkojen toteuttamiseen. Valinnan lopputuloksena on usein teknologia, joka on kompromissi abstraktiotason, hinnan ja ominaisuuksien väliltä.

Laite muodostuu ohjainpiiristä, lähettimestä, antureista, henkilöntunnistimesta ja yhteistoiminnan mahdollistavasta pakkauksesta. Ohjainpiiri muodostaa laitteen tärkeimmän osan, joka kontrolloi ja ohjaa oheislaitteiden toimintaa. Lähetin kiinnittyy tietoliikenteellisesti väylällä ohjainpiiriin ja välittää mitatut tiedot eteenpäin automaatiojärjestelmälle. Anturit ovat yksinkertaisia mittalaitteita, jotka kytketään ohjainpiiriin. Henkilöntunnistin on myös anturi, mutta monimutkaisuutensa ja monipuolisuutensa vuoksi se käsitellään erikseen. Pakkaus on elektroniikkatermi ja tarkoittaa koko laitetta yleisemmällä tasolla. Pakkaus sisältää laitteen virransyötön, elektroniikkakomponentit ja piirilevyn. Kutakin komponenttia on saatavilla lukuisia eri malleja, erilaisella toteutuksella, erilaisella abstraktiotasolla ja erikokoisena. Valinnan vaikeus on löytää suunnitellulle järjestelmälle parhaiten soveltuvat komponentit.

Teknologiavalinnoilla on tietyt reunaehdot, jotka komponenttien täytyy yhdessä täyttää. Tärkein ehto on se, että laitteen osat eivät saa häiritä toisiaan. Tämä on tärkeää erityisesti langattomien radioiden kanssa, jotta käytetyt taajuudet ja kanavat eivät mene päällekkäin. Toinen välttämätön ehto on liitettävyyden. Komponentit täytyy voida kytkeä toisiinsa jollain yleisellä menetelmällä, jotta kommunikointi onnistuu. Analogisten mittaussuureiden osalta ohjainpiirissä tulisi olla analoginen I/O-portti sekä AD-muunnin (analogia-digitaali). Lähettimen, tunnistuslaitteen ja ohjainpiiriin tulisi voida keskustella sopivalla protokollalla, kuten SPI- (Serial Peripheral Interface) tai UART-väylällä. Internet-yhteys vaatii laitteelta käytännössä TCP/IP-protokollan. Sähköinen yhteensopivuus on myös tärkeä reunaehto, jotta ylimääräiseltä piirilevysuunnittelulta säästyään. Yleisesti sulautetuissa järjestelmissä käytössä olevat 3,3 V ja 5 V jännitteet ovat suositeltavia ja näitä komponentteja löytyykin paljon. Lisäehtoina ovat halpa hinta, pieni koko ja järkevä kehitettävyyden.

Nykyään on saatavilla monenlaisia komponentteja aina pienimmän yksityiskohdan toteuttavasta sirusta valmiisiin pakettiratkaisuihin. Käytettävää teknologiaa valitessa joudutaan tekemään päätös halutusta abstraktiotasosta. Valmiit ratkaisut helpottavat suunnitelmien toteuttamista.

nittelijan työtä, kun jokaista pyörää ei tarvitse keksiä uudelleen. Kuitenkin valmiiden ratkaisujen negatiivinen puoli on monesti se, että tuotetta ei pysty räätälöimään optimaalisesti omaan konseptiinsa ja mukana tulee paljon ylimääräistä. Lisäksi valmiit paketit ovat lähes poikkeuksetta isompia, kalliimpia ja kuluttavat enemmän tehoa. Jos kokemusta ja aikaa löytyy, on itse tehty järjestelmä palkitsevin.

Tässä luvussa perehdytään laitteen teknologiavalintoihin yksityiskohtaisesti ja perustellaan käytetyt menetelmät. Lisäksi luvussa annetaan perustietoa kustakin teknologiasta ja esitetään tärkeimpiä havaintoja niiden käytöstä tämän opinnäytetyön tarkoituksessa.

5.1 Ohjainpiiri

Ohjainpiiri on laitteen keskusyksikkö, joka hoitaa muiden komponenttien yhteistoiminnan. Piirille asetetut vaatimukset on kuvattu luvussa neljä, ja tässä luvussa keskitytään vertailemaan eri piirivaihtoehtoja ja perustelemaan tehtyä valintaa.

5.1.1 Kehitysalustat

Suosittuja ja helppokäyttöisiä keskusyksikkövaihtoehtoja ovat tänä päivänä niin sanotut "luottokortin kokoiset tietokoneet" kuten Raspberry Pi tai Arduino. Ne ovat suhteellisen pieniä ja mahdollistavat matalan kynnyksen sulautettujen järjestelmien kehityksen opeteluun. Kehitysalustat tarjoavat kaikki yleisimmät liitännät, joten lukuisat lisälaitteet toimivat niiden kanssa. Internetistä löytyy myös runsaasti ohjeita ja oppaita laitteiden käyttöön.

Vaikka edellä mainitut kehitysalustat ovatkin varteenotettavia vaihtoehtoja, asettuvat ne silti vaatimusmäärittelyn rajoille. Laitteiden koko ja hinta on iso verrattuna jäljempänä esiteltäviin mikrokontrollereihin ja sama pätee sähköisten vaatimusten kanssa. Myöskään hyvää käytettävyyttä ei voida taata laitteiden monimutkaisuuden takia. Yksinkertaisiin toimintoihin ei ole syytä käyttää monimutkaista ratkaisua.

5.1.2 Mikrokontrollerit

Mikrokontrollerit ovat perinteisiä sulautettujen järjestelmien keskusyksiköitä, jotka mahdollistavat matalan tason kehityksen. Nykyisten kontrollereiden kapasiteetti ja teho riittävät varsin monipuolisten toimintojen ohjaamiseen, joten ne ovat hyviä vaihtoehtoja kaikenlaisille sovellutuksille. Markkinoiden suurimmat mikrokontrollerivalmistajat ovat Atmel ja Microchip, ja niiden tuoteperheet ovat vastaavasti AVR ja PIC. Molempien valmistajien kontrollerit ovat hyvin samankaltaisia, eikä voida sanoa toisen olevan parempi kuin toinen. Mikrokontrollereiden ohjelmointi onnistuu C-kielillä.

Ratkaisevaa mikrokontrollerin valinnassa on vaaditut ominaisuudet. Valmistajan tuoteluettelosta haetaan sopivaa mikrokontrolleria ominaisuuksien perusteella ja lopuksi vali-

taan laitteeseen sopiva kotelotyyppi. Yleensä samasta kontrollerista on saatavilla sekä läpiladontapakkaus, että pintaliitospakkaus.

Mikrokontrollereiden ja isompien kehitysalustojen välimaastosta löytyy vielä eri toimittajien kustomoimia mikrokontrollereita. Nämä ovat yleensä joihinkin käyttötarkoitukseen räätälöityjä piirejä, joissa mikrokontrolleri toimii ytimenä ja muutama lisälaitte tarjoaa erikoistoiminnan. Tällainen piiri on esimerkiksi työssä käytetty Bluegigan WF121 WLAN-moduuli.

Vaatimusten perusteella mikrokontrolleri soveltuu työhön hyvin, kunhan löytyy sopiva malli. Alla on listattu ominaisuudet, joita mikrokontrollerilta halutaan.

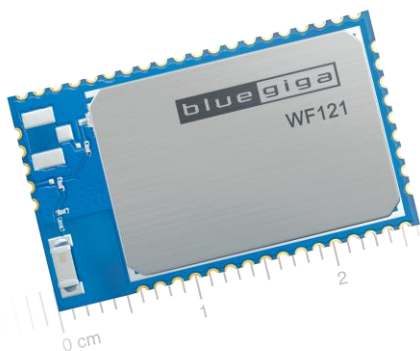
- vähintään kaksi analogista sisääntuloa AD-muuntimella lämpötila- ja kirkkausantureita varten
- vähintään yksi digitaalinen sisääntulo ohjelmoitavalla keskeytyskutsulla liiketunnistinta varten
- vähintään yksi digitaalinen ulostulo lediä varten
- UART-väylä
- SPI-väylä
- riittävästi muistia
- alhainen virrankulutus
- halpa hinta
- pieni koko

Työn ensimmäisen version mikrokontrolleriksi valittiin kuvassa seitsemän esitetty Microchip PIC18F4520, koska kyseisen valmistajan tuotteet olivat jo entuudestaan tuttuja, ja tästä mikrokontrollerista löytyi halutut ominaisuudet.



Kuva 7 Microchip PIC18F4520 –mikrokontrolleri

Toisessa versiossa mikrokontrollerivalinta tehtiin uudelleen ja lopputuloksena päädyttiin suomalaisen Bluegigan kustomoimiin mikrokontrollereihin. Ohjainpiirinä toimii kuvassa kahdeksan esitetty Bluegigan WF121 -moduuli, jonka sisällä on Microchipin PIC32-sarjan mikrokontrolleri ja lisälaitteena WLAN-lähetin. Laitteen ohjelmointi tapahtuu Bluegigan kehittämällä BGScript-skriptikielellä.



Kuva 8 Bluegiga WF121

5.2 Anturit

Anturit ovat yksinkertaisimmat ja halvimmat osat koko projektissa, yksittäisiä elektronikkakomponentteja lukuun ottamatta. Järjestelmän suunnittelun perusteella laitteessa tarvitaan lämpötila- ja kirkkausanturi sekä liiketunnistin. Molempia ensin mainittuja antureita on saatavana eri malleja, mutta toimintaperiaate on kaikissa sama. Poikkeuksena ovat infrapuna-anturit, mutta ne jätettiin vertailussa soveltumattomina huomiotta.

Lämpötila-anturimalleja ovat esimerkiksi termoparit ja termistorit. Termoparin toiminta perustuu kahden metallin liitoksen lämpötilaerosta syntyvään jännitteeseen, ja termistorin toiminta perustuu muuttuvaan resistanssiin. Termistoreita on vielä kahta eri tyyppiä: NTC-termistorin (Negative Temperature Coefficient) resistanssi pienenee lämpötilan kasvaessa, ja PTC-termistorin (Positive Temperature Coefficient) resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa. Antureiden kanssa toimiessa on hyvä muistaa mittaustarkkuus, joka on tavallisissa sovelluksissa korkeintaan asteen kymmenesosia. Ylimääräisiä desimaaleja on siis syytä välttää!

Teollisuudessa suosittu anturityyppi on pt100-anturi, mutta se ei oikein sovellu pieniin sovelluksiin. Sulautetuissa järjestelmissä käytetyin lienee digitaalinen DS18B20-anturi, joka antaa lämpötilalukeman suoraan Celcius-asteina 1-Wire-protokollalla. Yksinkertaisimpia toiminnaltaan ovat pienet termistorit, joiden yli olevan jännitteen suuruus täytyy tulkita itse ohjelmallisesti. Näitä on saatavilla eri vastusdekadeilla, joten sopivan jännitealueen voi valita itse. Muunnoskaavat resistanssista lämpötilaksi ovat saatavilla valmistajan datalehdeltä.

Työssä päädyttiin käyttämään termistoreita, koska ne ovat erittäin halpoja, eikä lämpötilan tulkitsemisen toteuttamista nähty isona vaivana. Sama anturityyppi ja ratkaisu valittiin myös kirkkausanturiksi. Kuvassa yhdeksän on kirkkausanturi vasemmalla ja lämpötila-anturi oikealla puolella.



Kuva 9 Kirkkaus- ja lämpötila-anturi

Liiketunnistimia on yleisessä käytössä muutamaa eri tyyppiä, joista tavallisin on passiivinen infrapunatunnistin (PIR). Laite tunnistaa infrapunasäteilyn voimakkuuden nopeat vaihtelut, jotka johtuvat esimerkiksi ihmisen liikkeestä. Toimiakseen infrapunatunnistin vaatii referenssilämpötilaksi valvottavan kohteen ympäristön lämpötilan.

Markkinoilla on paljon halpoja, luotettavia ja pienikokoisia liiketunnistimia, jollainen valittiin myös tähän työhön. Toimintajännite on 5–20 V ja ulostulojännite on 3,3 V.

5.3 Lähetystekniikka

Anturien tiedot haluttiin lähettää langattomasti automaatiojärjestelmälle, ja vaatimuksena lähetystekniikalle oli riittävä kantomatka ja teknologian yleisyys. Koska vastaanotto-päässä täytyy olla samaa tekniikkaa käyttävä radio, eikä ylimääräisiä lisälaitteita haluta asentaa, rajoittuvat vaihtoehdot automaatiojärjestelmissä yleensä oleviin radiotekniikoihin. Käytännössä jokainen moderni kotiautomaatiojärjestelmä on kytketty kodin reititimeen, jossa on WLAN-lähetin-vastaotin, joten lähetystekniikaksi valikoituu luonnollisesti WLAN eli Wi-Fi. Muita järkeviä vaihtoehtoja ei tällä hetkellä ole. [24]

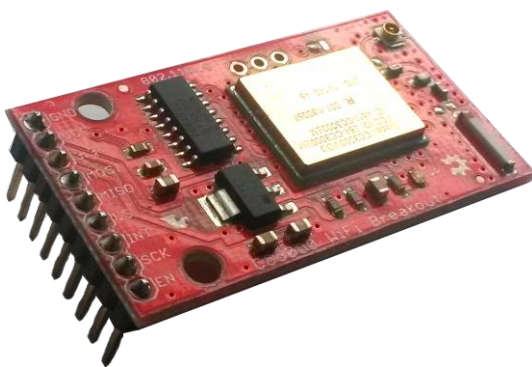
WLAN (wireless local area network) on pitkään käytetty ja kaikkialta löytyvä teknologia, jonka avulla voidaan muodostaa langaton lähiverkko. WLAN-tuki löytyy nykyään lähes jokaisesta matkapuhelimesta, tablet-laitteesta ja kannettavasta tietokoneesta. WLAN-verkkoja tarjotaan kodeissa, työpaikoilla sekä julkisissa tiloissa, kuten lentokentillä, kouluissa ja ravintoloissa. WLANin merkitys on kuitenkin vähenemässä matkapuhelinverkkojen nopeuksien kehityttyä. [24]

WLAN-standardi toimii yleisellä 2,4 GHz kanavalla (uudempi 802.11n myös 5 GHz kanavalla) ja tarjoaa teoreettisen maksiminopeuden 600 Mbit/s, josta käytännössä jäädään usein reilusti alle. Toimintamuotoina ovat infrastruktuuritila, jossa liikenne kulkee reitittimen (AP) kautta, sekä ad-hoc-tila, jossa liikenne kulkee suoraan laitteesta toiseen. Kotikäytössä yleisin on infrastruktuuritila, jonka reitittimenä toimii Internet-yhteyden jakava laite. Verkkoyhteys voidaan salata WEP, WPA ja WPA2 -tekniikoilla. [24]

Tässä työssä päätettiin käyttää infrastruktuuritilaa, koska useimmissa kotiautomaatiojärjestelmissä se on oletuksena myös. Kun laitteet ovat samassa lähiverkossa, voidaan viestintä IP:n avulla käynnistää määritettyihin portteihin. Taas useissa kotiautomaatiojärjestelmissä on mahdollisuus viestintään TCP- tai UDP-protokollalla, joista TCP sopii kehitettävään järjestelmään paremmin luotettavuutensa vuoksi. Tämän jälkeen on enää sopivasta sanomarakenteesta kiinni, miten hyvin viestit saadaan tulkittua.

WLAN-teknologian kypsytyden ansiosta markkinoilta löytyy lukuisia halpoja WLAN-moduuleita, joita voi käyttää projekteissa. Useimmissa moduuleissa kaikki tarvittavat protokollat ja standardit on toteutettu valmiiksi, eikä käyttäjän tarvitse muuta kuin oikeilla komennoilla yhdistää moduuli verkkoon ja lähettää viestejä.

Työn ensimmäisen version piiriksi valittiin kuvassa kymmenen esitetty Texas Instrumentsin CC3000 Wi-Fi -moduuli, jossa on prototyypilevyn mittoihin sopivat pinnireiät. Konfigurointi tapahtuu SPI-väylän kautta oikeilla komennoilla, jotka löytyvät valmistajan datalehdeltä.



Kuva 10 Sparkfun WiFi Breakout - CC3000

Bluegiga-versiossa valittu ohjainpiiri sisältää valmiiksi WLAN-moduulin. Sisäänrakennetun moduulin käyttö on helppoa, kun yhteensopivuus on taattu ja ohjainpiiri hoitaa tarvittavat alustusrutiinit ja muut proseduurit käyttäjän puolesta.

5.4 Tunnistustekniikat

Työn tärkein yksittäinen osuus on sopivan tunnistustekniikan löytäminen ja henkilön tunnistuksen tutkiminen. Markkinoilta ei valmiina löydy kotiautomaatioon soveltuvaa yksinkertaista tunnistuslaitetta. Henkilöiden tunnistamista tehdään paljon avaimien, salasanojen ja tunnistussirujen avulla, mutta tietyssä tilassa olevia henkilöitä ei ainakaan kotiautomaatiotarkoituksessa vielä tunnisteta. Monet tekniikat ovat kuitenkin jo tarpeeksi kypsiä ja halpoja, joten niitä voisi käyttää tunnistamistarkoituksessa.

Suoria tunnistusmenetelmiä ovat yleisesti käytössä olevat avaimet, biometriset tunnistukset ja tunnistussirut. Asetettujen käytettävyyksivaatimusten perusteella ei ole järkevää, että käyttäjä joka kerta huoneistossa liikkeessaan tunnistaisi itsensä asettamalla tunnistuksensa lukijaan. Nämä tekniikat ovat siis poissuljettuja ja jäljelle jäävät langattomat etäluettavat vaihtoehdot.

Kuvantunnistus on kiinnostava ja ison potentiaalinen omaava tunnistustekniikka, koska ihminenkin tunnistaa henkilöt parhaiten näön perusteella. Sen lisäksi, että kameralla voitaisiin tunnistaa tilassa olevat henkilöt, sillä voitaisiin paikantaa henkilöiden sijainti vieläpä tietyn huoneen sisällä. Tästä voitaisiin päätellä mitä henkilö on tekemässä, kuinka kauan hän on paikallaan, minkälaisessa asennossa ja niin edelleen. Mahdollisuudet ovat rajattomat, ja kyse on vain kuvantunnistushjelman ja algoritmien kehittämisestä.

Kuvantunnistustekniikka karsiutui valinnan ulkopuolelle kameroiden hinnan, algoritmien monimutkaisuuden ja tekniikan vaatiman laskentatehon takia. Laitteesta tulisi tällä hetkellä turhan iso ja kallis, jos siinä käytettäisiin tekniikan vaatimia komponentteja. Tekniikka on kuitenkin lupaava ja ehdottomasti jatkokehittämisen sekä tutkimisen arvoinen.

Optimaalinen teknologia tilassa olevien henkilöiden tunnistamiseen olisi sellainen, joka soveltuu helposti koneille, eikä vaadi käyttäjältä ylimääräisiä toimia. Radiosirut sopivat tähän tarkoitukseen koneiden kannalta hyvin, koska ne viestivät samalla tavalla. Käyttäjän kannalta radiosiru on ongelma, koska hän joutuu kantamaan sitä mukanaan.

Ihmisillä on pitkään ollut kännykkä, ja arkikäyttöön on kovasti tulossa erilaista puettavaa teknologiaa, kuten älykelloja. Näissä laitteissa on luonnollisesti erilaisia radiolähetimiä, ja niitä on totuttu kantamaan mukana. Hyvä kompromissiratkaisu löytyy siis jostain näistä teknologioista. Valinta riippuu vain halutuista ominaisuuksista.

RFID (Radio-Frequency Identification) ja NFC ovat hyvin lyhyen kantaman tunnistusmenetelmiä, joita on käytössä esimerkiksi kännyköissä ja lähimaksusiruissa. Siruja on olemassa passiivisia, jotka eivät vaadi virtaa, sekä aktiivisia, jotka vaativat virtaa. Passiiviset sirut olisivat ihanteellisia tunnistuskäytössä, kun mukana kannettavaa laitetta ei tarvitsisi ladata. Lähitunnistusteknologioiden ylitsepääsemätön ongelma on juuri tunnistusetäisyys, joka pudottaa sen järkevien tunnistusmenetelmien vaihtoehdoista. Lukija joutuisi olemaan esimerkiksi oviaukossa kiinni sopivalla korkeudella, eikä tunnistaminen olisi siltikään luotettavaa.

WLAN on lähellä optimaalista tunnistusratkaisua. Ongelmaksi WLANin käytössä muodostuu turhankin suuri kantama (yli yhden huoneen), laitetuen puuttuminen puuttavan teknologian puolella sekä sen käyttö jo lähetystekniikkana.

Paras ratkaisu ongelmaan vaikuttaisi olevan Bluetooth. Se on erittäin yleinen ja paljon käytetty lyhyen (noin yhden huoneen) kantaman tiedonsiirtotekniikka, joka soveltuu myös tunnistusmenetelmäksi. Markkinoilla olevat Bluetooth-moduulit ovat melko halpoja, ja ne ovat helppokäyttöisiä kehittäjän näkökulmasta. Bluetoothista on olemassa eri versioita, joista uusin Bluetooth 4 sisältää kaksi toisistaan suuresti eroavaa Bluetooth-teknologiaa: Bluetooth Classic ja Bluetooth low energy.

5.4.1 Bluetooth Classic

Bluetooth Classic on perinteinen Bluetooth-teknologia, joka on ollut pitkään käytössä eri laitteissa ja sovellutuksissa. Sen kehitti Ericsson vuonna 1994 langattomaksi vaihtoehdoksi RS-232-tiedonsiirrolle, ja se on nykyään yleisin tiedonsiirtotapa mobiililaitteiden välillä. Bluetooth Classic on kehittynyt uusien standardien myötä parantaen esimerkiksi tiedonsiirtonopeutta ja pienentäen virrankulutusta. [25]

Teknologia käyttää UHF-radioaaltoja 2,4–2,4835 GHz taajuuskaistalla, joka on jaettu 79:ään 1 MHz kanavaan. Siirrettävä data jaetaan paketteihin, jotka lähetetään hajaspektritekniikkaa ja taajuushyppelyä käyttämällä. Tiedonsiirtonopeus 3.0 standardilla EDR (Enhanced Data Rate) ja HS (High Speed) -lisäominaisuuksilla on 24 Mbit/s. Kantama yleisimmin käytetyillä luokan kaksi radiolaitteilla on noin 10 metriä, mutta signaalin etenemistä rajoittaa huomattavasti signaalitiellä olevat esteet ja heijastumat. Virrankulutus on tyyppillisesti luokkaa 2,5 mW. [25]

Bluetoothin verkkotopologia on Point-to-Point-tyyppinen, jossa yksi laite on isäntä ja muut orjia. Bluetooth-verkkoa kutsutaan pikoverkoksi (piconet), ja jos useampi piko-verkko on yhdistetty toisiinsa, muodostunutta isompaa verkkoa kutsutaan hajaverkoksi (scatternet). Yhteen isäntälaitteeseen voi olla yhdistettynä enintään seitsemän orjalaitetta, ja viestiliikenne tapahtuu aina isännän ja orjan välillä. Kaksi orjaa eivät voi keskustella keskenään. [25]

Laitteiden yhdistäminen tapahtuu Classic Bluetoothissa seuraavasti:

1. Skannaus. Jos Bluetooth-laitteet eivät ennestään tunne toisiaan, toisen on käynnistettävä Bluetooth-skannaus. Tällöin laite pyytää kantomatkalla olevia Bluetooth-laitteita lähettämään itsestään mainospaketin, joka sisältää muun muassa laitteen osoitteen ja nimen. [25]
2. Synkronointi. Kun yhteyttä valittuun osoitteeseen aletaan muodostaa, suoritetaan synkronointi, jossa laitteiden taajuudet ja kellot sovitetaan yhteen. [25]
3. Palveluhaku. Synkronoinnin jälkeen isäntälaitte suorittaa palveluhaun käyttämällä SDP-protokollaa. (Service Discovery Protocol) [25]
4. Viimeisenä muodostetaan kommunikointikanava L2CAP-protokollalla. Tämän päällä voidaan käyttää esimerkiksi RFCOMM-protokollaa, joka muistuttaa paljon TCP-protokollaa ja sisältää menetelmät luotettavaan tiedonsiirtoon. [25]

Laitteet voivat sisältää paritukseksi kutsutun tietoturvamekanismin, jolla rajoitetaan yhteydenmuodostus vain autentikoiduille käyttäjille. Autentikoinnissa käytetään PIN-koodia. [25]

Bluetooth Classic osoittautui tunnistuskäytössä melko hyväksi tekniikaksi. Lähes kaikki laitteet tukevat sitä, joten todennäköisyys sille, että käyttäjällä on sopiva laite mukanaan, on suuri. Laite täytyy olla näkyvissä muille laitteille, jotta anturin skannaus havaitsee sen. Bluetooth Classicin huono puoli tunnistusta ajatellen on skannauksen hitaus. Keskimäärin laitteen löytämiseen menee yhdestä viiteen sekuntia, mikä heikentää reaaliaikaominaisuuksia. Hitaus johtuu skannattavien kanavien paljoudesta.

Classic Bluetooth -moduuleita on markkinoilla runsaasti. Ensimmäisen version moduuliksi valittiin kuvassa yksitoista esitetty Kiinasta tilattu halpa HC-07 master -moduuli, joka tukee UART-tiedonsiirtoa, ja jota hallitaan AT-komennoilla. Moduulin toimintaa tunnistuskäytössä ei päästy testaamaan ennen kuin Bluegiga-versiota alettiin kehittää.



Kuva 11 HC-07 Bluetooth-moduuli

5.4.2 Bluetooth low energy

Bluetooth spesifikaatio 4.0 sisältää kokonaan uuden Bluetooth-standardin, joka kulkee nimellä Bluetooth low energy. Alun perin standardia kehitti Nokia omalla Wibree-nimellään, mutta se yhdistettiin Bluetoothiin vuonna 2010. Low energy -tekniikka on tarkoitettu vähävirtaisiin laitteisiin, kuten puettavaan teknologiaan, ja sen virrankulutus onkin saatu parhaimmillaan jopa sadasosaan Bluetooth Classicin virrankulutuksesta. Parannus on vaatinut isoja muutoksia standardiin, joten low energy ja Classic eivät ole toistensa kanssa yhteensopivia. Molempien teknologioiden hyödyntäminen on yleistä esimerkiksi kännyköiden kaltaisissa isäntälaitteissa. [26] [27]

Bluetooth low energyn nimeämiskäytäntö on ensisilmäyksellä helposti harhaanjohtavaa. Bluetooth 4.0:lla tarkoitetaan spesifikaatiota, joka sisältää molemmat standardit: Classic ja low energy (sekä kolmas high speed). Bluetooth low energy, Bluetooth LE, BLE ja Bluetooth Smart tarkoittavat kaikki samaa low energy standardia. Bluetooth Smart Ready tarkoittaa puolestaan molempia standardeja tukevaa laitetta. [27]

Radioteknisiltä ominaisuuksiltaan low energy on hyvin yhteneväinen Bluetooth Classicin kanssa. Myös low energy käyttää 2,4–2,4835 GHz taajuuskaistaa, hajaspektritekniikkaa ja taajuushyppelyä. Eroa on kanavien määrässä, joita low energyssä on 40 ja leveydessä, joka on 2 MHz. Low energyn radiotekniikan kantama on yhteneväinen Classicin kanssa, mutta tiedonsiirtonopeus on selkeästi pienempi. [25]

Myös topologiaaltaan low energy on Classicin kanssa samankaltainen. Verkko on Point-to-Point-tyyppinen, mutta myös tähtitopologiaa on mahdollista käyttää. Classicin tavoin laitteet ovat isäntiä tai orjia, mutta low energyssä orjien määrää ei ole rajoitettu, koska paketeissa käytetään 32-bittistä osoitetta. [26]

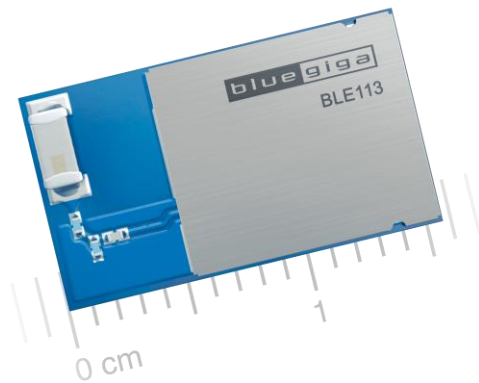
Suurimmat erot tulevat esiin tekniikan käytössä ja protokollissa. Low energyssä laitteiden löytäminen tapahtuu kuuntelemalla muiden laitteiden lähettämiä mainospaketteja, ja yhteyden muodostaminen suoritetaan paljon yksinkertaisemmin ja tehokkaammin. Skannaava laite lähettää vastaanotetun mainospaketin perusteella yhteydenmuodostuspyynnön, johon orjalaite vastaa datalla, ja näin on yhteys muodostettu. [26]

Kehittäjän kannalta merkittävimmät protokollat ovat GAP (Generic Access Profile), ATT (Attribute Protocol) ja GATT (Generic Attribute Profile), joiden avulla yhteyksiä voidaan hallita ja tietoa siirtää. GAP tarjoaa menetelmät skannaukseen, yhteyden ylläpitoon ja muihin Bluetoothin hallintaan liittyviin tehtäviin. GATT ja ATT mahdollistavat tiedonsiirron erityisen tietokannan avulla. Esimerkiksi BLE-anturi voi ylläpitää tietokantaa, johon mittaustiedot tallennetaan, ja josta lukijalaite voi ne lukea. Tietokanta on jaettu palveluihin (service), joilla on ominaisuuksia (characteristic), ja kaikki on yksilöity 128-bittisillä UUID-tunnistimilla. Bluetooth on standardoinut joukon profiileja, jotka sisältävät valmiiksi määriteltäviä UUID-tunnistimia, joiden ansiosta geneeristen laitteiden kehitys on helpompaa. [28]

Bluetooth low energyn käyttö tunnistamiseen täyttää tekniikaltaan asetetut vaatimukset. Teknologia on virtapihiä ja tunnistaminen tapahtuu erittäin nopeasti. Tunnistuskäyttöä rajoittavia tekijöitä ovat low energy -laitteiden suhteellinen vähyys, mutta ongelma korjaantunee tulevaisuudessa. Toinen merkittävä ongelma ilmaantui vasta laitteen kehityksen loppumetreillä, kun Bluetooth low energyä näennäisesti tukeva matkapuhelin ei tukenutkaan mahdollisuutta olla havaittavana muille low energy -laitteille. Tämä johtuu sekä laitteistopuutteesta, että puutteesta Androidin Kit kat -versiossa. Ominaisuus on päivitetty uuteen Lollipop-versioon. Lisäksi havaittiin ongelma Polarin aktiivisuusrannekkeen havaittavuustoiminnon kanssa, kun se kytkeytyy pois päältä laitteen näytön sammussa.

Bluegiga-versiossa low energy -tunnistimeksi valittiin kuvassa 12 esitetty Bluegigan BLE113-moduuli, jossa on sisäänrakennettu Bluetooth low energy -anturi ja tarvittavat protokollat anturin käyttämiseksi. Moduulin ytimenä toimii pieni mikrokontrolleri, jon-

ka päälle Bluegiga on rakentanut oman käyttöliittymänsä. WLAN-moduulin tavoin BLE113-moduuli ohjelmoidaan Bluegigan BGScript-skriptikielellä.



Kuva 12 Bluegiga BLE113

5.5 BGScript skriptikieli

Bluegiga on kehittänyt moduulinsa käyttöä varten oman skriptikielensä, jota kutsutaan nimellä BGScript. Tarkoituksena on ollut mahdollistaa nopea laitteiden kehitys ja käyttöönotto. [29]

BGScript-koodia voi kirjoittaa millä tahansa tekstieditorilla, mutta työssä käytettiin Notepad++-ohjelmaa. Ohjelma ja konfiguraatiotiedostot määritellään ”bgproj”-pääteisessä tiedostossa, joka käännetään ”.hex”-muotoon Bluegigan kääntäjällä. [29]

Kielen toiminta perustuu tapahtumiin, joita aiheutuu funktiokutsujen seurauksena tai ulkoisista herätteistä. Laitteen käynnistyessä ensimmäinen aktivoituva tapahtuma on nimeltään system_boot, joka on esitetty alla. Parametreina se saa joukon versiotietoja. [29]

```
event system_boot(major,minor,patch,build,ll_version,protocol,hw)
```

Syntaksi on yksinkertainen, kuten muissakin skriptikielissä. Rivinlopetusmerkkiä ei ole, ja lohkot erotetaan toisistaan sisentämällä. Muuttuja määritetään ilman tyyppiä varatulla sanalla ”dim” ja vakio varatulla sanalla ”const”. Funktiota kutsutaan sanalla ”call”. [29]

Ohjelmointi BGScript-kielellä muistuttaa Python-kielellä ohjelmointia. Bluegiga tarjoaa kielen opiskeluun selkeän oppaan ja lisäksi täydellisen funktioluettelon selityksineen. Kielellä saa näppärästi käyttöön tavallisesti pitkiä rakenteita vaativia toimintoja, mutta skriptipohjaisuudessa on myös haittapuolensa. Joidenkin matalamman tason kielillä yksinkertaisten toimintojen suorittamiseksi jouduttiin kirjoittamaan sekavia toteutusratkaisuja. [29]

5.6 Muut tekniikat

Anturin rakentamiseksi tarvittiin vielä piirilevy, elektroniikkakomponentit ja ohjelmointilaitteet.

Piirilevy on tavallinen kaksipuoleinen levy, jonka layout suunniteltiin Eagle-ohjelmalla, ja valmistus suoritettiin elektroniikan laitoksen tiloissa syövytysprosessilla. Komponenttien juottaminen tehtiin muuten käsin, mutta BLE113-moduuli juotettiin Reflow-uunilla.

Elektroniikkakomponenteista tarvittiin vastuksia, kondensaattori, diodi, regulaattori, ledi ja liittimet.

Ohjelmointilaitteena ensimmäisen version mikrokontrollerille ja Bluegiga-version WF121-moduulille käytettiin Microchipin PICkit 3.5 -ohjelmointilaitetta. Bluegigan BLE113-moduulia varten jouduttiin tilaamaan Texas Instrumentsin CCDebugger-ohjelmointilaitte.

6. TYÖN TOTEUTUS

Työn toteutus alkoi valittujen komponenttien saavuttua ja eteni opintojen ohessa hiljalleen uusia menetelmiä samalla opetellen. Hyvänä apuna toimivat laitevalmistajien datalehdet sekä Internetin oppaat ja keskustelupalstat.

Työn ensimmäistä versiota tehtiin melko pitkälle, kunnes vastaan tuli isoja ongelmia WLAN-moduulin kanssa. Samalla oli kokemuksen karttuessa kypsynyt ajatus aloittaa projekti alusta paremmilla komponenteilla. Ratkaisuksi löytyivät suomalaisen Bluegigan valmistamat komponentit, jotka vaikuttivat sopivan erinomaisesti kehitettävään laitteeseen.

Bluegiga-versio vaati melko paljon opettelua ja valmistelua alkuun pääsemisessä. Bluegigalta ei löytynyt suoraan läpiladontapakkauksia, joten moduuleille jouduttiin tekemään prototyyppeilyt. Lisäksi BLE113-moduulia varten piti tilata oma ohjelmointilaitteensa.

Toimivan prototyypin valmistuttua, voitiin tehdä varsinainen anturilaite, joka oli työn palkitsevin vaihe. Ohjelmointityötä jatkettiin vielä valmiilla anturilla toimintojen viimeistelemiseksi. Testaustyötä tehtiin runsaasti jo ohjelmoinnin aikana, mutta lopullinen testaus tapahtui valmiilla anturilaitteella erikseen.

Anturille tehtiin Android-puhelimella toimiva konfigurointisovellus automaation ohjelmistokomponentit ja sovelluspalvelut -kurssin harjoitustyönä. Ohjelmalla voidaan ottaa anturi käyttöön uudessa ympäristössä sekä lukea mittausarvot.

6.1 Ensimmäinen versio

Ensimmäisen version rakentamisen alkuvaiheessa ei ollut vielä tietoa miten eri komponentit toimivat ja mitä niillä pystyy ylipäänsä tekemään. Paljon aikaa kului opetteluun, mutta työ meni silti eteenpäin. Perustoiminnot, kuten lämpötilan, kirkkauden ja liikkeen mittaus, saatiin toimimaan, mutta ongelmat CC3000 WLAN -moduulin kanssa pakottivat viimeistään miettimään projektia uudelleen.

Ensimmäisen version peruskokoonpano oli siis seuraava: PIC18F4520 mikrokontrolleri, HC-07 Bluetooth -moduuli ja TI CC3000 WLAN -moduuli. Lisäksi käytettiin PICkit 3.5 -ohjelmointilaitetta ja mikrokontrollereille soveltuvaa LCD-näyttöä debug-tarkoitukseen.

Mikrokontrolleri ohjelmoitiin alustamaan ensin haluttu pinnikonfiguraatio. PIC-mikrokontrollereissa tarvittavat pinnijärjestykset löytyvät datalehdeltä, ja oikean toiminnan ohjelmoiminen vaatii monesti sen perinpohjaista lukemista, koska pinnien asettaminen on pikkutarkkaa työtä. Esimerkiksi B-portin ykköspinnin alustus ulostuloksi tapahtuu seuraavasti:

```
TRISBbits.TRISB1 = 0; // B-portin pinni 1 ulostuloksi
```

Kokonaisia portteja tai rekistereitä voidaan myös alustaa käyttäen binäärimuotoa, jolloin kukin binääriluku viittaa rekisterin tiettyyn paikkaan. Esimerkiksi AD-muuntimen ADCON1-rekisterin alustus:

```
ADCON1 = 0b00001101;
```

Ensimmäisen version valmiiksi saadut alustusrutiinit on lueteltu alla:

- Ledien alustus
- Anturien alustus
- AD-muuntimen alustus
- SPI-väylän alustus
- Keskeytystoimintojen alustus

Analogisten anturien arvot saatiin luettua käyttämällä ohjelmallisesti mikrokontrollerin 10-bittistä AD-muunninta. Lukeminen tapahtuu rekistereitä käyttämällä, ja yksityiskohmainen ohje lukuprosessin suorittamiseen löytyy datalehdeltä. Alla olevassa funktioesimerkissä on kuvattu analogisen arvon lukeminen halutusta kanavasta. Paluuarvona saadulla muunnosarvolla haetaan vakiotaulukosta muunnosta vastaava lämpötila-arvo.

```
unsigned int readADValue(unsigned char channel)
{
    if (channel > 13) return 0; // virheellinen kanava
    ADCON0 = (channel << 2); // vaihdetaan kanava
    ADON = 1; // muunnin päälle
    GODONE = 1; // aloitetaan muunnos
    while(GODONE); // odotetaan
    ADON = 0; // muunnin pois päältä
    return ADRES; // palautetaan saatu luku
}
```

Ohjelma 1. AD-muuntimen käyttö anturin lukemiseen

Isoja ongelmia ilmeni CC3000 WLAN -moduulin käytössä. Moduuli saatiin alustettua SPI-väylän kautta ja se reagoi muutamiin komentoihin, mutta yhteyttä WLAN-verkkoon ei saatu muodostettua. Aluksi aiheutui ihmeellisiä virheitä, jotka johtuivat liian pienen virtarajan omaavasta jänniteregulaattorista, mutta yhdistämisiongelmaan sekään ei auttanut.

Kokemuksen kartuttua ja moduuleihin laajemmin tutustuttua alkoi vaikuttaa siltä, että parempaan lopputulokseen voisi päästä valitsemalla kokonaan uudet komponentit. En-

simmäisestä versiosta oli nimittäin tulossa isokokoinen ja kallis, vaikkei käytössä ollut edes isokokoista ”luottokorttitietokonetta”. Niinpä ensimmäisestä versiosta tuli hyvä harjoituskappale, ja projektiin alettiin etsiä uusia komponentteja.

6.2 Bluegiga-versio

Sopivia komponentteja etsiessä löytyivät suomalaisen Bluegigan valmistamat WLAN- ja Bluetooth-moduulit. Moduuleissa on ytimenä monipuolinen mikrokontrolleri, jota voidaan ohjelmoida Bluegigan kehittämällä BGScript-skriptikielellä. WF121:n sisäinen mikrokontrolleri on PIC32MX695F512H, ja BLE113:n prosessori on 8051.

Molempien moduulien käyttäminen alkuvalmistelujen jälkeen oli suhteellisen vaivatonta verrattuna pelkkään mikrokontrolleriin. Moduulien ohjelmointiin tehty kääntäjä hoitaa monimutkaiset porttialustukset, joten kehittäjän on helppo ottaa mikrokontrollerin ominaisuuksia käyttöön yksinkertaisella xml-tiedostolla.

Bluegigan moduuleilla työ onnistuttiin viemään maaliin asti, ja laitetta päästiin testamaan käytännössä. Parantelua ja optimointia olisi voinut tehdä vielä enemmänkin, mutta prototyypilaitteen luonteen vuoksi ne jätettiin tekemättä.

6.2.1 Prototyypin valmistaminen

Moduulien käytön opettelua ja laitteen kehitystä varten täytyi rakentaa aluksi prototyyppi. Prototyypillä voitiin testata eri pinnijärjestyksiä ja lisätä ominaisuuksia yksi kerrallaan. Toimivan prototyypikokoonpanon perusteella tehtiin lopullinen valmis piirilevy.

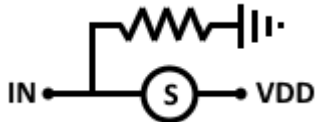
Seuraavaksi esitellään laitteen prototyypin valmistaminen ominaisuus kerrallaan. Selostuksessa käytetyt pinnit on numeroitu datalehden mukaan kuvissa 14 ja 15.

Molemmat Bluegigan moduulit toimivat 3,3 V tasajännitteellä, joka työssä tuotettiin riittävät 800 mA virtaa antavalla LM1117 regulaattorilla ja suodatuskondensaattorilla. Käyttöjännite tuodaan WF121-moduulissa pinneihin kahdeksan ja yhdeksän, ja BLE113-moduulissa pinneihin kahdeksan ja 17. Kaikki GND-pinnit, mukaan lukien jäähdytysliitin, kytkettiin yhteiseen maatasoon.

WF121-laitteen ohjelmointia varten kytkettiin PICkit-ohjelmointilaitteen pinnit oikeisiin paikkoihin. VDD ja VSS antavat virran USB-liittimestä, ja ne kytketään ohjelmointilaitteen VDD- ja GND-liittämiin. MCLR-pinni tulee pinniin 13 (MCLR), PGC-pinni tulee pinniin 14 (GEC1) ja PGD-pinni tulee pinniin 15 (GED1). PGM voidaan jättää kytkemättä. Laitteistokonfiguraatiot aktivoidaan molemmissa piireissä ohjelmallisesti hardware.xml-tiedostossa, joka siirretään moduuliin ohjelman tallennuksen yhteydessä.

Ensimmäiseksi laitteen toimintaa testattiin asettamalla toimintaledi pinniin kymmenen (RE5). Etuvastukseksi mitoitettiin 300 ohmia. Pinniltä signaali menee siis sarjassa olevien vastuksen ja ledin kautta maatasoon.

Seuraavaksi kytkettiin lämpötila- ja kirkkausanturi, joiden kytkennät ovat identtiset. WF121-moduulin analogiset sisääntuloportit 17 (RB8) ja 18 (RB5) kytkettiin siten, että mittaussignaali otetaan anturin ja vastuksen sarjakytkenän välistä. Vastuksiksi valittiin kymmenen kilo-ohmin vastukset. Kytkentäkuva on esitetty alla kuvassa 13.



Kuva 13 Analogiantureiden kytkentäkaavio

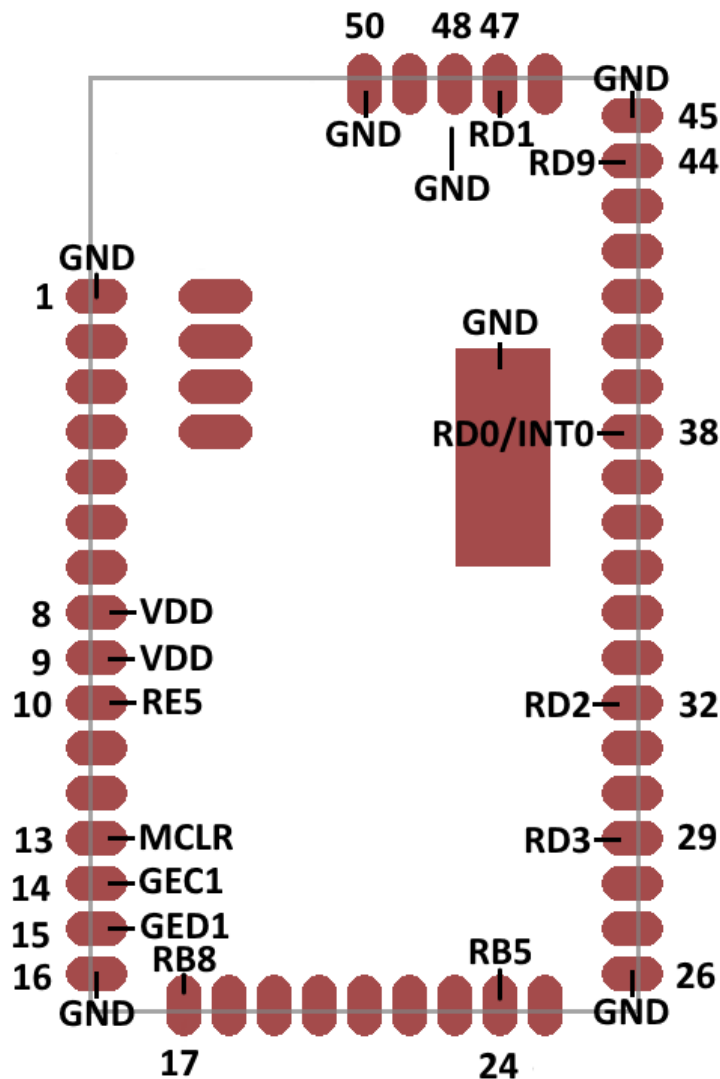
Liiketunnistin konfiguroitiin toimimaan pinnissä 38 (RD0/INT0), jossa on mahdollisuus käyttää ohjelmallista keskeytyskutsua. Liiketunnistin antaa ulostulona 3,3 V, joka voitiin kytkeä suoraan sisääntuloon kiinni.

WLAN-yhteyden muodostamiseksi ei tarvinnut kytkeä pinnejä, koska kaikki WLAN-toiminnot hoidetaan ohjelmallisesti.

Tiedonsiirto WF121-moduulin ja BLE113-moduulin välillä tapahtuu UART-väylän kautta. Kanavaksi valittiin yksi (jota hämäävästi symboloi numero nolla), nopeudeksi asetettiin 9600 baudia/s, RTS/CTS-kättely otettiin käyttöön ja UART asetettiin ohjelmoitavaksi (api="false"). Muut arvot jätettiin oletusarvoiksi. Esimerkki WF121-moduulin UART-konfiguraatiosta:

```
<uart channel="0" baud="9600" api="false" handshake="true"/>
```

WF121-moduulissa UARTille on kanavassa yksi varattu pinnit 29 (RD3 = TX), 32 (RD2 = RX), 44 (RD9 = CTS) ja 47 (RD1 = RTS).

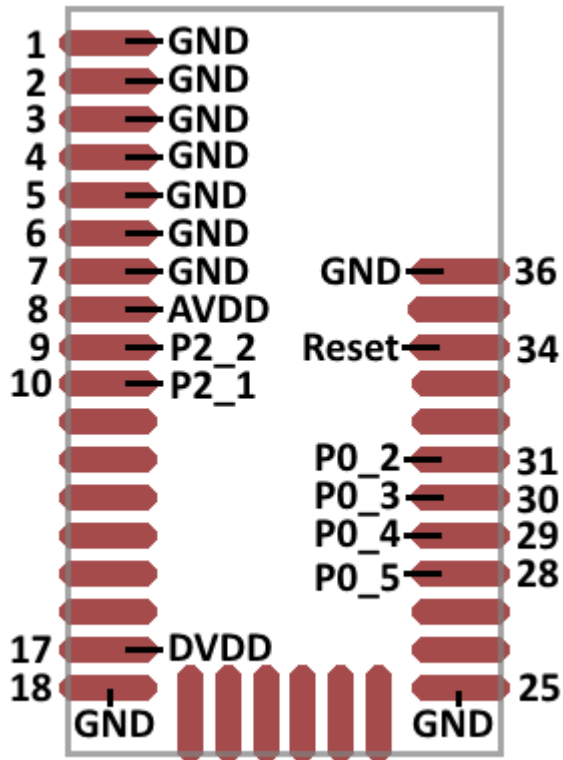


Kuva 14 WF121-moduulin pinnikonfiguraatio

BLE113-moduulissa tiedonsiirtoa varten otettiin käyttöön UART-kanava nolla, joka tämän moduulin hardware.xml-tiedostossa myös vastaa numeroa nolla. Pinnijärjestys on 28 (P0_5 = RX), 29 (P0_4 = TX), 30 (P0_3 = RT) ja 31 (P0_2 = CT).

Ohjelmointipinnit ovat BLE113-moduulissa 34 (Reset), GND, yhdeksän (P2_2 = DC) ja kymmenen (P2_1 = DD).

Myös Bluetooth-moduuliin on mahdollista kytkeä antureita ja toimilaitteita, joten sitä voisi käyttää myös itsenäisenä laitteena. Tässä työssä moduulia käytettiin vain anturina eikä kaikkia sen ominaisuuksia hyödynnetty.



Kuva 15 BLE113-moduulin pinnikonfiguraatio

Prototyypivaiheessa esiintyi kummallisia yhteysongelmia WLANin kanssa, jotka korjaantuivat valmiissa piirissä. Vika todennäköisesti aiheutui huonoista kontakteista hyp-pylangoissa.

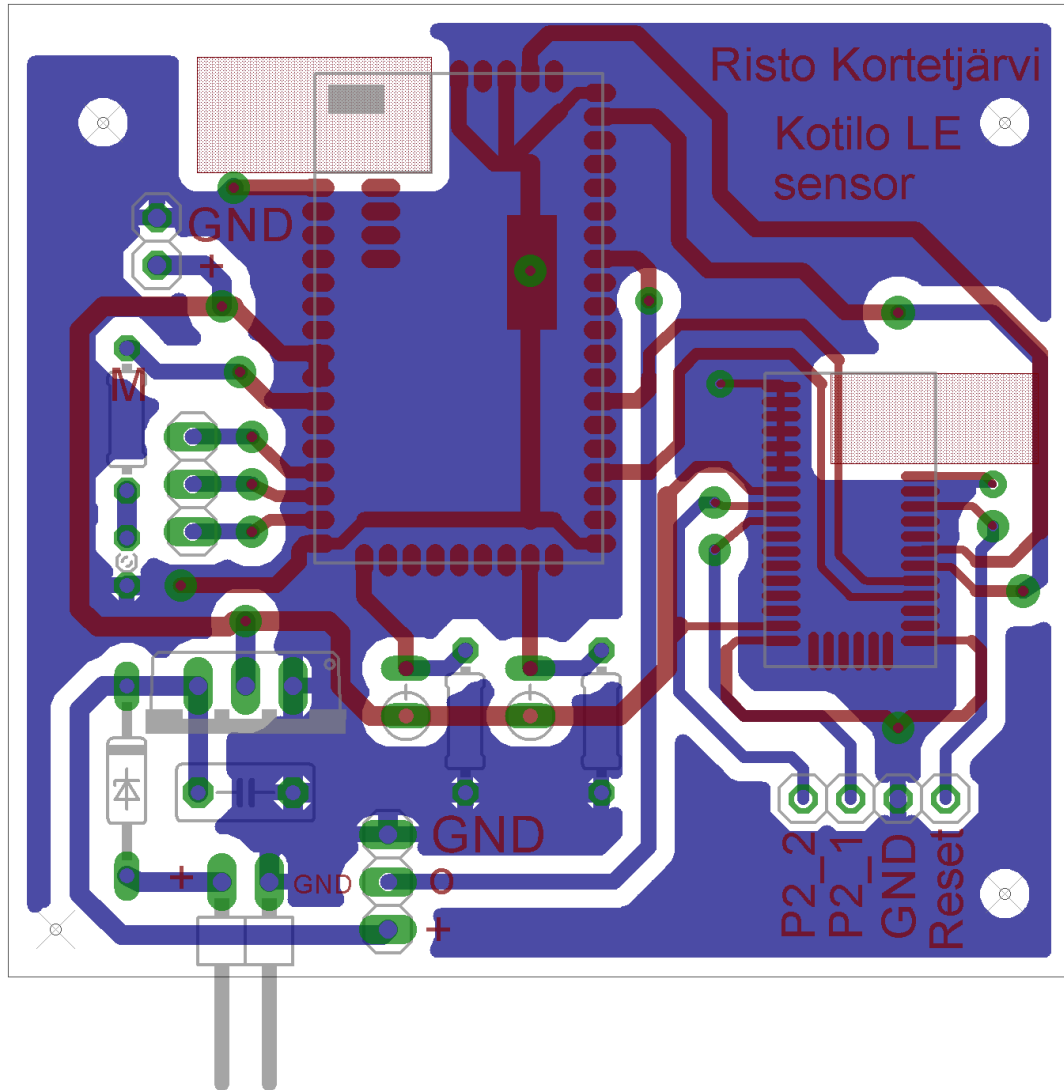
6.2.2 Piirilevyn valmistaminen

Piirilevy valmistettiin käyttämällä EAGLE-ohjelmistoa ja hyödyntämällä elektroniikan laitoksen oppilaslaboratoriota. Työ oli monivaiheinen ja vaati suurta tarkkuutta. Piiristä tehtiin kaksi versiota, koska ensimmäistä versiota haluttiin vielä parantaa sijoittelua tiivistämällä ja johdinvetoja selkeyttämällä.

EAGLElle ladattiin Bluegigan komponenttien mallit, joiden ympärille muu piiri rakennettiin. Piiri suunniteltiin kaksipuoleiseksi, jotta piirilevyn tila saadaan tehokkaasti käytettyä. Johdinviedot valittiin mahdollisimman suuriksi ja johtimien välit mahdollisimman isoiksi hyvän syövytystuloksen varmistamiseksi. Bluegigan datalehdeltä löytyi muutamia tärkeitä piirilevyn suunnittelusääntöjä, koskien komponenttien sijoittelua. Moduulien ohjelmointia varten piirin reunoille sijoitettiin liittimet. Lopuksi levyn alapuolelle tehtiin maatasen kuparitäyttö.

Piirilevyn layout-kuva on esitetty kuvassa 16. Kuvassa punaiset alueet ovat levyn yläpuolen johdinvetoja, ja siniset alueet ovat alapuolen johdinvetoja. Vihreällä on merkitty porattavat läpivientireiät. Kuvassa keskellä oleva iso suorakulmio esittää WF121-

moduulia ja oikealla oleva pienempi suorakulmio esittää BLE113-moduulia. WF121-moduulin alaosasta lähtevät kaksi johdinvetoa menevät lämpötila- ja kirkkausantureille. Kuvan vasemmassa alalaidassa olevat ”piikit” kuvaavat virtaliitintä, ja heti sen oikealla puolella olevat kolme pinniä kuuluvat liiketunnistimelle.



Kuva 16 Piirilevyn layout-kuva

Piirilevyn valmistamisen vaiheet olivat maskin tulostus, piirin syövyttäminen, poraaminen ja komponenttien juottaminen. Valmis piirilevyn layout-kuva tulostettiin mustavalkoisena piirtoheitinkalvolle ylä- ja alapuoli erikseen. Tämän jälkeen valmiiksi lakatulle kaksipuoleiselle piirilevylle valotettiin tulostetut maskit. Valotuksen jälkeen levy kehitettiin kehitysliuoksessa ja lopuksi syövytettiin happoliuoksessa. Poraaminen suoritettiin yksinkertaisesti käsikäyttöisellä pylväsporalla. Lopuksi kaikki muut komponentit juotettiin käsin, paitsi Bluetooth-moduuli, joka täytyi liittimien hankalan sijainnin takia juottaa reflow-uunissa.

6.2.3 Ohjelmointi ja testaus

Ohjelmointi ja testaus etenivät rinnakkain ominaisuus kerrallaan. Aluksi opeteltiin BGScript-kielen syntaksia ja harjoiteltiin esimerkkiohjelmilla. Ensimmäinen kokeilu oli saada ledi palamaan, jotta voitiin varmistua moduulin toiminnasta. Seuraava merkittävä askel oli WLAN-yhteyden muodostus, jonka ansiosta debug-tulosteita pystyttiin lähettämään TCP-yhteydellä. Tässä luvussa selostetaan WF121- ja BLE113-moduuleihin ohjelmoitujen ohjelmarakenteiden toiminta.

WF121-moduulin käynnistyessä suoritetaan seuraavat toimenpiteet:

Ladataan ensin pysyvästä muistista WLAN-verkon tunnus ja salasana. Tunnuksen latauksesta on esimerkki alla.

```
call flash_ps_load(WLAN_NAME_KEY)(ps_result, ps_value_len,
connect_ssid(0:ps_value_len))
```

Latauksen lisäksi alustetaan pinni LED-valolle, joka kytketään myös päälle.

```
call hardware_io_port_config_direction(4,$0060,$0000) # led pin
call hardware_io_port_write(4,$0020,$0020) # power led on
```

Liiketunnistimen pinni konfiguroidaan sisääntuloksi, ja asetetaan keskeytyskutsu tapahtumaan signaalin nousevalla reunalla.

```
call hardware_io_port_config_direction(3,$0001,$0001) # mot pin
call hardware_external_interrupt_config($01, $01) # interrupt
```

Analogiantureiden pinnikonfiguraatioita ei tarvitse tehdä, koska ne on tehty jo järjestelmäkonfiguraatiodostoon hardware.xml. Lisäksi asetetaan ajastimelle tietty aika, jolloin antureilta luetaan dataa, kytketään WLAN-päälle ja ohjataan tulevat UART-viestit haluttuun endpoint-osoitteeseen.

```
call hardware_set_soft_timer(TIMER_MS, TIMER_ID, 0) # timer
call sme_wifi_on() # wifi on
call endpoint_set_streaming_destination(UART0_ENDPOINT, -1)
```

Käynnistymistoimenpiteet jatkuvat verkkoyhteyden muodostamisella ja ne tapahtuvat omissa event-funktioissaan.

Ensimmäisenä aktivoituu sme_wifi_is_on-tapahtuma, kun WLAN-piiri on käynnistynyt. Se aloittaa yhteyden muodostamisen haluttuun verkkoon.

```
event sme_wifi_is_on(state)
    # Connect using password and network name.
    call sme_set_password(pswd_len, password_data(0:pswd_len))
    call sme_connect_ssid(ssid_len, connect_ssid(0:ssid_len))
```

end

Kun yhteys on muodostettu, kutsutaan `sme_connected`-tapahtumaa. Jos yhteydenmuodostus epäonnistuu, kutsutaan `sme_connect_failed`-tapahtumaa, jossa yhteyttä yritetään muodostaa uudelleen. `Sme-connected`-tapahtuma aloittaa TCP-yhteyden muodostamisen.

```
event sme_connected(status, hw_interface, bssid)
    call tcpip_start_tcp_server(TCP_PORT, -1) # start server
end
```

Kun asiakas ottaa yhteyden TCP-palvelimeen, aktivoituu `tcpip_endpoint_status`-tapahtuma, jossa luodaan yhteydelle uusi endpoint.

```
event tcpip_endpoint_status(endpoint, local_ip, local_port, remote_ip, remote_port)
    if (local_port = TCP_PORT) && (remote_ip != 0) then
        tcp_client_endpoint = endpoint
    end if
end
```

Tämän jälkeen tarkistetaan `endpoint_status`-tapahtumassa, onko yhteyden tila aktiivinen.

```
event endpoint_status(endpoint, type, streaming, destination, active)
    if (endpoint = tcp_client_endpoint) && (active = 1) then
        tcp_connected = 1 # tcp connection established
    end if
end
```

Analogisten mittausarvojen lukeminen tehdään ajastintapahtumassa. Ajastintapahtuma ajetaan aina, kun jonkun ajastimen aika loppuu. Tapahtumassa tarkistetaan mikä ajastin tapahtuman on aiheuttanut ja suoritetaan sitä koskeva koodi.

```
event hardware_soft_timer(handle)

    if handle = TIMER_ID then
        ...
    end if
end
```

AD-muunnos tehdään `hardware_adc_read`-kutsulla, joka palauttaa muunnostuloksen väliltä 0–1023. Lukemaa voidaan käyttää suoraan kirkkaustiedossa, mutta lämpötilaa varten se joudutaan muuttamaan Celsius-asteiksi. Erilliseen `temperatures.bgs`-tiedostoon on listattu kutakin muunnosarvoa vastaava lämpötila-arvo. Kirkkausarvon lukeminen on esimerkkinä alla.

```
call hardware_adc_read(BRG_CHANNEL)(ad_brightness_result,
ad_brightness_input, ad_brightness_value)
```

Lopuksi saadut tulokset lähetetään TCP:n ja UARTin kautta eteenpäin. Viestit ovat kymmenen merkkiä pitkiä ja sisältävät aloitus- ja lopetusmerkit. Esimerkiksi lämpötilaviesti on muotoa ”\$te=025.3\n”. Esimerkkinä viestin lähetyksestä on kirkkausarvojen lähetys.

```
call endpoint_send(tcp_client_endpoint, 10,
send_brg_buffer(0:10)) # send to TCP
call endpoint_send(UART0_ENDPOINT, 10, send_brg_buffer(0:10))
# send to BLE113
```

Liiketunnistin käynnistää keskeytystapahtuman hardware_external_interrupt. Tapahtumassa selvitetään keskeytyksen tyyppi, eli onko huoneessa liikettä vai ei, ja lähetetään tiedot eteenpäin. Alla on keskeytyksen tyyppiä kuvaamassa muuttuja motion_detected.

```
event hardware_external_interrupt(irq, timestamp)
  if irq = 0 then # channel
    if (motion_detected = 0) then
      ...
    end if
  end if
end
```

Jos liikettä on havaittu, eli pinnissä on jännite ja motion_detected on nolla, täytyy keskeytyskutsun aktivointi vaihtaa laskevalle reunalle ja motion_detected asettaa ykköseksi. Päinvastaisessa tilanteessa asetukset tehdään toisinpäin.

```
call hardware_external_interrupt_config($01, $00) # falling edge
motion_detected = 1
```

Tieto lähetetään sekä TCP:n että UARTin kautta vastaavalla tavalla kuin analogiarvojen tapauksessa.

BLE113-moduulin lähettämät tiedot käsitellään endpoint_data-tapahtumassa. Mahdollisia viestejä ovat WLAN-verkon tunnuksen ja salasanan vaihto sekä havaitun laitteen MAC-osoite.

```
event endpoint_data(endpoint, data_len, data_data)
  if endpoint = 0 then
    ...
  end if
end
```

Datan lukeminen tapahtuu kopioimalla parametrina saatu data globaaliin datapuskuriin ja tutkimalla onko lopetusmerkki saavutettu. Mikäli lopetusmerkkiä ei ole vielä saavutettu, poistutaan tapahtumasta ja odotetaan että se käynnistyy uudestaan.

```
if (rx_position < 32) then # check
    memcpy(rx_buffer(rx_position), data_data(0), data_len)
    rx_position = rx_position + data_len # move index
    if rx_buffer(rx_position - 1:1) = "\n" then
        ...
    end if
end if
```

Jos lopetusmerkki saavutettiin, voidaan tutkia mitä viesti sisältää. WLAN-verkon tietojen muutokset tallennetaan pysyvään muistiin flash_ps_save-funktiolla. Esimerkkinä alla on WLAN-nimen tallentaminen, joka löytyy rx_bufferista.

```
call flash_ps_save(WLAN_NAME_KEY, rx_position - 4,
rx_buffer(4:rx_position - 4))
```

Lopuksi tyhjennetään datapuskuri ja nollataan sijainti-indeksi.

```
memset(rx_buffer(0), 0, 32)
rx_position = 0
```

BLE113-moduulin käynnistystoimenpiteet ovat seuraavat:

Laitteen nimi ladataan pysyvästä muistista samaan tapaan kuin WF121-moduulissa. Nimeä käytetään Bluetooth-tunnuksena, ja se kirjoitetaan GATT-tietokantaan attributes_write-funktiolla.

```
call attributes_write(device_adv_name, 0, ps_value_len, device_name_buf(0:ps_value_len))
```

Bluetoothia varten asetetaan mainostusparametrit, käynnistetään mainostus ja aloitetaan laitteiden etsintä.

```
call gap_set_adv_parameters(32, 48, 7)
call gap_set_mode(gap_general_discoverable,
gap_undirected_connectable)
call gap_discover(2)
```

UART-yhteyttä varten asetetaan puskuriasetukset halutuksi.

```
call system_endpoint_set_watermarks(UART1_ENDPOINT, 10, 0)
```

Lisäksi asetetaan skannausta varten ajastin samalla tavalla kuin WF121-moduulissa.

Kun skannaus löytää Bluetooth LE -laitteen, ajetaan gap_scan_response-tapahtuma. Skannaus tehdään neljän sekunnin sykleissä, jolloin uuden syklin aikana löydetty laite voi olla löydetty jo edellisen syklin aikana, eikä siitä haluta lähettää uutta ilmoitusta automaatiojärjestelmälle. Tämä estetään pitämällä taulukkoa löydettyistä laitteista. Taulukko auttaa myös havaitsemaan tilasta poistuneet laitteet. Jos edellisen syklin aikana löytynyttä laitetta ei löydykään uuden syklin aikana, voidaan laite poistaa taulukosta.

Alla on gap_scan_response-tapahtuman koodi. Ensin silmukassa tutkitaan onko laite löydetty jo aiemmin vertaamalla memcmp-funktiolla löydetyn laitteen osoitetta persons-tilaukossa oleviin. Jos laite on löydetty aiemmin, asetetaan taulukossa sen osoitteen perässä oleva tarkistusbitti ykköseksi, jolloin sitä ei poisteta taulukosta skannauksen loputtua. Mikäli löydetty laite on uusi, sen osoite lisätään taulukkoon ja tarkistusbitti asetetaan ykköseksi. Lisäksi osoite lähetetään UARTin kautta WF121-moduulille.

```
event gap_scan_response(rssi, packet_type, sender, address_type, bond, data_len, data_data)
    person_index = 0
    is_same = 0
    while person_index < persons
        if memcmp(person_buffer(person_index * 7), sender(0), 6) then
            is_same = 1
            person_buffer(6 + person_index * 7 :1) = 1 # is in room
            person_index = persons
        end if
        person_index = person_index + 1
    end while

    if ((is_same = 0) && (persons < 10)) then
        memcpy(person_buffer(persons * 7), sender(0), 6)
        person_buffer(6 + persons * 7 :1) = 1 # is in room
        call send_mac(COMMAND_INS, person_buffer(persons * 7 :6))
        persons = persons + 1
    end if
end
```

Ohjelma 2 gap_scan_response-tapahtuma

Ohjelmalistauksessa kaksi käytetty send_mac-funktio on itse määritetty funktio, joka muuntaa MAC-osoitteen ASCII-muotoon ja lähettää sen UARTilla samassa muodossa kuin WF121-moduulin yhteydessä esiteltiin. MAC-osoitteen muuntamiskaava löytyy Bluegigan oppaista.

Paikallisen GATT-tietokannan arvojen muuttaminen matkapuhelimella käynnistää attributes_value-tapahtuman.

```
event attributes_value(connection, reason, handle, offset, value_len, value_data)
```

Handle-parametria verrataan tietokannan vastaaviin tunnuksiin, ja niiden muutoksesta ilmoitetaan UARTin kautta WF121-moduulille, tai tallennetaan BLE113-moduulin py-

syvään muistiin, jos kyseessä on BLE113-moduulin Bluetooth-nimi. UART-kirjoitussyntaksi on hieman erilainen verrattuna WF121-moduulin BGScript-versioon, ja alla on esimerkkinä WLAN-verkon nimen käsittely ja lähettäminen.

```
if handle = wlan_name then
    gatt_to_uart_buf(0:4) = "$na="
    gatt_to_uart_buf(4:value_len) = value_data(0:value_len)
    gatt_to_uart_buf(4 + value_len:1) = "\n"
    call system_endpoint_tx(UART1_ENDPOINT, 5 + value_len,
        gatt_to_uart_buf(0:5 + value_len))
end if
```

WF121-moduuli lähettää UARTilla anturiarvoja BLE113-moduulille. Kun käynnistyksen yhteydessä määritetty UART-raja tulee täyteen, ajetaan system_endpoint_watermark_rx-tapahtuma. Tapahtumassa luetaan UART-rekisteri ja kirjoitetaan anturiarvot GATT-tietokantaan. UART-raja poistetaan käytöstä lukemisen ajaksi, ja tapahtuman lopussa uart_buf-lukupuskuri nollataan. Alla on esitetty UARTin lukeminen ja lämpötila-arvon päivitys.

```
call system_endpoint_rx(UART1_ENDPOINT, in_len)(result, in_len,
    uart_buf(0:in_len))
if uart_buf(0:3) = "$te" then
    call attributes_write(temperature, 0, 5, uart_buf(4:5))
end if
```

Bluetooth-laitteen tilasta poistumisen havaitseminen on toteutettu ajastamalla skannaus syklisteksi. Anturi skannaa laitteita neljä sekuntia ja on tauolla sekunnin. Sen jälkeen sykli alkaa uudestaan. Syklin lopussa tarkistetaan onko tilasta poistunut laitteita ja ilmoitetaan niistä WF121-moduulille.

Ajastimen päätyttyä ajetaan hardware_soft_timer-funktio, jossa tutkitaan handle-arvolla mikä ajastin funktion käynnisti. Kun handle on yksi, tauko on päättynyt ja aloitetaan uusi skannaus. Samalla käynnistetään uusi neljän sekunnin ajastin.

```
if handle = 1 then
    call gap_discover(2)
    call hardware_set_soft_timer(131072, 4, 1)
end if
```

Kun handle on neljä, skannaus on päättynyt ja tilassa olevat laitteet voidaan tarkistaa. Tässä monimutkaisemmassa taulukon läpikäymistehtävässä skriptikieli ei ole vahvimmillaan. Ensinnäkin tutkitaan kaikkien taulukossa olevien osoitteiden tarkistusbitti, ja jos joku on poistunut tilasta, lähetetään sen osoite WF121-moduulille ja poistetaan se taulukosta. Samalla joudutaan taulukko käymään läpi uudelleen ja siirtämään poistuneen laitteen jälkeisiä laitteita vasemmalle taulukossa. Jos laite ei ole poistunut tilasta, nolla-

taan tarkistusbitti seuraavaa skannaussykliä varten. Lopuksi käynnistetään sekunnin ajastin tauon ajaksi. Koodi `handlen` arvolle neljä on esitetty ohjelmalistauksessa kolme.

```

if handle = 4
call gap_end_procedure() # end scan
person_index = 0

while person_index < persons
  if person_buffer(6 + person_index * 7 :1) = 0 then # not in room
    call send_mac(COMMAND_OUT, person_buffer(person_index * 7 :6))
    # move persons left in the person_buffer.
    cleaner_index = person_index
    while (cleaner_index + 1) < persons
      memcpy(person_buffer(cleaner_index * 7), per
        son_buffer((cleaner_index + 1) * 7), 7)
      cleaner_index = cleaner_index + 1
    end while
    memset(person_buffer(person_index * 7), 0, 7) # reset last
    person_index = person_index - 1
    persons = persons - 1
  else
    person_buffer(6 + person_index * 7 : 1) = 0 # reset check bit
  end if
  person_index = person_index + 1
end while
call hardware_set_soft_timer(32768, 1, 1)
end if

```

Ohjelma 3 Skannaussyklin lopettaminen

Ohjelmarakenteita testattiin siten, että tavanomaisimmat käyttötapaukset toimisivat tyyppisimmissä tilanteissa. Projektin luonteen vuoksi laajoja testitapauksia ja virhetilanteita ei testattu.

6.2.4 Integrointi kotiautomaatiojärjestelmään

Laite on suunniteltu helposti integroitavaksi eri valmistajien kotiautomaatiojärjestelmiin. Laite tarjoaa tietoja tarkkailtavasta tilasta, ja kotiautomaatiojärjestelmän vastuulle jää datan analysointi ja toiminta.

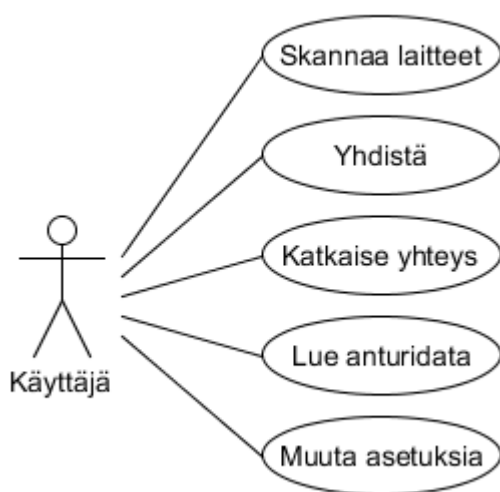
Laite asennetaan tarkkailtavan tilan katonrajaan, mielellään sähköpistokkeen lähelle. Matkapuhelinsovelluksella konfiguroidaan laitteelle huoneiston WLAN-verkon tunnus ja salasana, jolloin laite pääsee kirjautumaan verkkoon ja käynnistämään TCP-palvelimen.

Seuraavaksi kotiautomaatiojärjestelmä täytyy konfiguroida ottamaan yhteys anturin TCP-palvelimeen ja ohjelmoida se tulkitsemaan sieltä tulevia viestejä. Esimerkiksi lämpötilatietojen perusteella voidaan ohjata lämmityslaitteita, tai Bluetooth MAC-osoitteiden perusteella voidaan ohjata valoja, musiikkia tai lukituksia persoonallisesti.

6.3 Android-konfigurointisovellus

Laitteelle tehtiin Android-alustoilla toimiva konfigurointisovellus automaation ohjelmistokomponentit ja sovelluspalvelut -kurssin harjoitustyönä. Sovellus parantaa huomattavasti laitteen käytettävyyttä, kun asetuksia voidaan muuttaa lennosta uudelleenohjelmoinnin sijaan.

Sovelluksen vaatimuksina on pystyä hakemaan ja listaamaan lähellä olevat anturilaitteet, muodostaa yhteys laitteisiin, lukemaan anturidata sekä muuttamaan laitteen asetuksia. Käyttötapaukset on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17 konfigurointisovelluksen käyttötapaukset

Sovellus ohjelmoitiin Java-kielellä Android Studiolla, joka tarjoaa graafisen käyttöliittymäeditorin. Keskeiset suunnitteluratkaisut perustuvat Android Studioon Activity-käyttöliittymäkomponentteihin ja itse tehtyihin Bluetooth-käsittelijäluokkiin. Android-kirjastot Bluetooth Classicille ja Bluetooth LE:lle ovat hyvin erilaisia, joten ne täytyi tehdä omiin luokkiinsa.

Käyttö aloitetaan painamalla käyttöliittymän aloitusruudun ”SCAN” tai ”SCAN LE” -painiketta, jolloin ohjelma hakee lähellä olevat Bluetooth tai Bluetooth LE -laitteet ja näyttää ne alapuolella olevassa listassa. Tämän jälkeen valitaan haluttu laite, ja yhdistetään siihen painamalla ”CONNECT”-painiketta. Onnistuneen yhdistämisen jälkeen sovellus siirtyy pääruutuun, jossa se näyttää anturiarvot ja kentät asetusten muuttamiselle. Anturiarvot voi päivittää painamalla ”SENSORS”-painiketta. Asetuksia muutetaan kirjoittamalla uusi asetusta oikeaan kenttään ja painamalla ”SAVE”. Uloskirjautuminen tehdään painamalla ”LOG OUT”-painiketta. Käyttöliittymä on esitetty kuvassa 18.



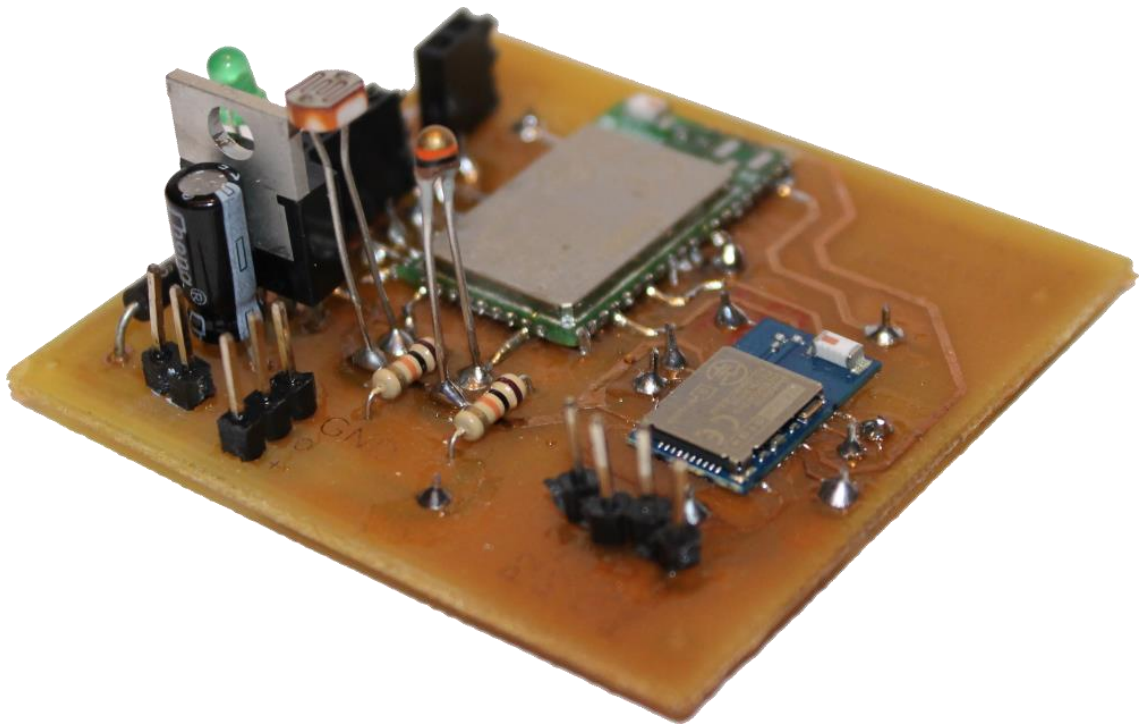
Kuva 18 Sovelluksen käyttöliittymä

Sovellukseen jätettiin mahdollisuus käyttää myös tavallisia Bluetooth-laitteita, koska anturilaitteen jatkokehityksessä saatetaan tukea myös Bluetooth Classicia.

7. TYÖN TULOKSET

Prototyyppi saatiin valmiiksi, ja se vastaa asetettuja vaatimuksia melko hyvin. Laite kytkeytyy haluttuun verkkoon, lähettää mittaustietoja ja tunnistaa lähellä olevat Bluetooth-laitteet. Valmis laite on esitetty kuvassa 19. Teknologiaavalinnat todettiin hyviksi ja toimiviksi, joskin hinta valituilla komponenteilla nousee hieman turhan korkeaksi.

Teknologia Bluetooth low energy soveltuu erinomaisesti tunnistustarkoitukseen, mutta työssä käytetty menetelmä ei tällä hetkellä ole välttämättä kaikkein toimivin ratkaisu laitteen puutteellisuuden takia. Työn idea on kuitenkin tärkeä ja ajankohtainen, joten jatkotutkimus on perusteltua.



Kuva 19 Valmis prototyyppi

Kuvassa keskellä oleva vihreä moduuli on WF121, ja sen oikealla puolella on sininen BLE113. Kirkkaus- ja lämpötila-anturit ovat WLAN-moduulin alapuolella ja ne ovat piirin korkeimmat komponentit. Vasemmassa alanurkassa on virtaliittimet ja niiden oikealla puolella kolmipinninen liitin liiketunnistimelle, jota kuvassa ei näy. Muut liittimet ovat piirin ohjelmointia varten. Layoutista on kerrottu lisää luvussa kuusi.

7.1 Vaatimustarkastelu

Laite vastaa kooltaan (56 x 53 x 25 mm) noin Raspberry Pi -minitietokonetta, joten koko on riittävän pieni huoneistokäyttöön. Pintaliitoskomponentteja käyttämällä kokoa saisi entisestään pienennettyä. Koteloa prototyypille ei valmistettu, eikä ulkonäköseikkoihin otettu kantaa. Laite on käytössä turvallinen, koska käytetyn muuntajan ulostulona olevat kuusi voltia ja korkeintaan 800 mA eivät aiheuta vaaraa.

Käytettävyydeltään laite on helppokäyttöinen, koska normaali käyttö ei vaadi toimenpiteitä. Vaativin osuus on kotiautomaatiojärjestelmän ohjelmointi kuuntelemaan ja tulkitsemaan laitteelta tulevat viestit, mutta se riippuu pitkälti käytetystä järjestelmästä. Laitteen myöhempi konfigurointi Android-sovelluksella on helppoa ja vaivatonta. Prototyypissä kaikkia virhetilanteita ei testattu ja korjattu loppuun asti, joten laitetta joutuu välillä käynnistämään uudelleen, esimerkiksi WLAN-yhteyden katketessa.

Valitut anturit ovat yksinkertaisia ja luotettavia ja pääosin täyttävät tehtävänsä. Liiketunnistin on kaikkein varmatoimisin ja ilmoittaa liikkeestä kuten kuuluukin. Kirkkausanturin tarkkuus riittää tunnistamaan valoisan ja pimeän, joten myös se täyttää vaatimukset hyvin. Lämpötila-anturi kärsii ilmeisesti piirin lämpenemisestä, koska käytön jatkuessa lämpötila kasvaa todellista suuremmaksi. Tätä kompensoitiin korjaustermillä, mutta asteen kymmenesosien tarkkuudesta ei voida puhua. Bluegigan Bluetooth-moduuli toimii myös hyvin. Joskus ilmenee viivettä laitteiden tunnistuksessa, mutta virhelähteiden paljouden vuoksi ei voida helposti sanoa mistä se kulloinkin johtuu.

Sähköisesti laite toimi testeissä odotusten mukaisesti. Koekytkentälevyllä ilmeni joitain ihmeellisiä sähkövikoja, mutta ne korjaantuivat, kun osat juotettiin kunnolla kiinni piirille. Virrankulutus ei ole merkittävä, ja edellä kuvattu virtalähde riittää sille hyvin. Laitteen tietoturvallisuus riippuu reitittimen konfiguraatiosta, koska laite pitää yhtä porttia avoinna kaikille yhteyksille. Myös Bluetooth-yhteys on avoin, koska kotikäytössä sitä ei nähty suurena uhkana, ja myöhemmin konfigurointi voitaisiin hoitaa muulla tavoin, esimerkiksi pienellä painonapilla.

Kritiikkiä laite saa hinnasta, tietoturvallisuudesta, toimintalogiikasta ja tarpeellisuudesta. Laitteen komponentit maksavat yli 50 euroa, mikä alkaa olla asetettujen vaatimusten yläpuolella. Kalleimmat komponentit ovat käytetyt WLAN- ja Bluetooth-moduulit, joissa maksaa niiden korkea kehitysaste. Niillä on helppoa ja nopeaa kehittää, mutta se myös maksaa. Tietoturvallisuuden kannalta laite on haavoittuvainen, jos joku pääsee lähiverkkoon tai Bluetooth-yhteyden kantamalle. Mahdollisia haittoja ovat laitteen tahallinen virhekonfigurointi ja tietojen urkkiminen. Kysymyksiä ja keskustelua herättää myös haluaako tavallinen käyttäjä yksilöityä tunnistusta, ja kantaako hän yleensä kännykkää mukanaan.

7.2 Työn merkitys

Työssä testattiin henkilön tunnistusta osana monitoimianturia, ja konsepti todettiin toimivaksi. Tunnistustoiminto saatiin toimimaan riittävän nopeasti ja luotettavasti kotiautomaatiokäyttöä ajatellen. Samoin muiden antureiden tuottama data saatiin kätevästi kotiautomaatiojärjestelmälle ilman hankalaa johdottamista. Työn idea ja tutkimusaihe on tärkeä, koska tarkka paikannus on välttämättömyys entistä tarkempaa automaatiota suunniteltaessa.

Bluetooth low energy soveltuu paikannus- ja tunnistuskäyttöön erinomaisesti. Teknologian skannaustoiminnolla tunnistus tapahtuu parhaimmillaan alle sekunnissa, ja virtapihiys on merkittävä ominaisuus mahdollisessa paristokäytössä. Monet uudet puettavat laitteet tukevat pelkästään Bluetooth low energyä, mikä puoltaa sen käyttöä kotiautomaatiossakin.

Työssä käytettiin menetelmää, jossa anturilaitte skannaa mainospaketteja lähetettäviä laitteita. Tämä menetelmä on hyvä siltä kannalta, että käyttäjän laitteen ei tarvitse muuta kuin lähettää mainospaketteja. Anturi tietää kuka on sen toiminta-alueella ja välittää tiedon kotiautomaatiojärjestelmälle. Menetelmän heikkous paljastui laitetekeä selvitetäessä. Vaikka laite nimellisesti tukee Bluetooth low energyä, se ei välttämättä tue sen kaikkia ominaisuuksia. Työn menetelmässä käytetään Bluetooth-spesifikaation peripheral- eli lisälaitteominaisuutta, jota monikaan laite tai ohjelmisto ei vielä tue.

Lisälaitteominaisuutta tukevia laitteita selvitettiin kokeilemalla ja kirjallisesti. Androidille ominaisuus tuli vasta Lollipop-päivityksen myötä ja Windowsille tulee luultavasti version kymmenen myötä. Apple on poikkeuksena tukenut ominaisuutta jo pidempään. Ohjelmistotuen lisäksi tarvitaan laitteiston tuki. Sopivan matkapuhelimen puutteessa laitetta saatiin onnistuneesti testattua Polarin aktiivisuusrannekkeella. Siinäkin ongelmia aiheutti virransäästötoiminto, joka lopettaa mainostuksen tietyn ajan kuluttua.

Toinen hyvä menetelmä tunnistukseen olisi kääntää idea päivystaiseksi ja antaa mukana kulkevan laitteen kertoa kotiautomaatiojärjestelmälle sijaintinsa. Tällä periaatteella toimii esimerkiksi Applen iBeacon, mutta sitä ei käytetä tunnistukseen. Päinvastainen menetelmä vaatisi oman sovelluksen asentamisen laitteeseen, jolloin esimerkiksi aktiivisuusrannekkeiden käyttö ei olisi mahdollista. Menetelmä on silti tutkimisen arvoinen, koska käyttäjän liittyminen älykotiin mahdollistaisi myös muita toimintoja, kuten herätyskellon, kalenterin, kuvien yms. saumattoman synkronoinnin.

Bluetooth Classica tutkittiin alustavasti tunnistustekniikkana, mutta laitteiden skannausten kesto arveltiin ongelmaksi. Tavallisesti laitteen tunnistamiseen meni muutamasta sekunnista kymmeneen sekuntiin, joten käyttäjän kannalta viive voi olla ärsyttävä. Tietysti riippuu toiminnosta, vaatiiko se välitöntä reagoitua vai saako siinä kestää kauemmin.

8. YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin henkilöt tunnistava monitoimianturi kotiautomaatiokäyttöön. Laite on pieni palovaroittimen kokoinen rasia, joka asennetaan jokaisen mitattavaksi halutun huoneen katonrajaan. Laitteen piirille on yhdistetty antureita, jotka mittaavat lämpötilaa, kirkkautta ja liikettä sekä moduuli, joka havaitsee lähistöllä olevat Bluetooth-laitteet. Bluetooth-laitteen MAC-osoitteen perusteella tiedetään kuka huoneessa on. Laite saa virtansa muuntajalla pistokkeesta, ja mittaustiedot lähetetään WLAN-yhteydellä kotiautomaatiojärjestelmälle.

Työssä pyrittiin mahdollisimman halpaan, käytännölliseen ja helposti liitettävään ratkaisuun. Piiri suunniteltiin alusta loppuun itse, jotta laite täyttäisi tehtävänsä optimaalisesti eikä siinä olisi mitään ylimääräistä. Antureina käytettiin yksinkertaisia ja luotettavia perusantureita, ja WLAN- ja Bluetooth-piireiksi valittiin Bluegigan räätälöimät WF121- ja BLE113-moduulit.

Lopputuloksena laitteesta saatiin tehtyä toimiva prototyyppi, joka vastaa annettuja vaatimuksia melko hyvin. Laite mittaa tiedot kohtalaisen luotettavasti, tunnistaa henkilöt kiitettävästi ja lähettää tiedot verkon kautta kotiautomaatiojärjestelmälle. Laite on vaivaton käyttää, ja konfigurointi Android-sovelluksella on helppoa. Käytetyn kotiautomaatiojärjestelmän toteutuksesta riippuu, miten laitteen lähettämien tietojen tulkinta onnistuu.

Käytetty Bluetooth low energy -teknologia soveltuu erinomaisesti tunnistus- ja paikannuskäyttöön. Skannaustoiminto havaitsee tilassa olevat laitteet nopeasti, ja vähävirtaisuus tuo etua mahdollista paristokäyttöä ajatellen. Bluetooth Classic on vertailun vuoksi paljon hitaampi tunnistuksessa, ja virrankulutus on suuri.

Työssä sovellettiin menetelmää, jossa mukana kannettavat laitteet mainostavat itseään, ja anturi skannaa lähetettyjä mainospaketteja. Menetelmässä on hyvää se, ettei mukana kannettavaan laitteeseen tarvitse asentaa mitään lisäsovelluksia. Huono puoli on se, että tällä hetkellä mainostuksen mahdollistava lisälaitte-ominaisuus on vielä harvinainen matkapuhelimissa. Aktiivisuusrannekkeista se usein löytyy, mutta näissä saattaa olla virransäästöominaisuuksia, jotka rajoittavat sen käyttöä.

Nyky aikaan paremmin sopiva ratkaisu voisi olla menetelmä, jossa matkapuhelin on sovelluksen avulla yhteydessä kotiautomaatiojärjestelmään. Tällöin matkapuhelin itse kertoisi järjestelmälle missä se liikkuu, jolloin anturilaitteen rooli olisi toimia majakka-

na. Sellaisten laitteiden, kuten aktiivisuusrannekkeiden kanssa menetelmä ei toimi, joissa ei ole mahdollisuutta asentaa omia ohjelmia.

Henkilön tunnistuksen lisäksi vielä laajempi liityntä omaan kotiin avaisi paljon uusia mahdollisuuksia älykotimarkkinoille. Kännykässä esimerkiksi on paljon tietoa käyttäjästä, mikä olisi hyödyllistä myös kotiautomaatiojärjestelmälle. Kalenterimerkintöjen, hälytysten, paikkatietojen, liikkeen ja muiden tietojen synkronointi kodin kanssa auttaisi taloa optimoimaan asukkaiden ympäristöä, jolloin tarvetta käsiohjauksille olisi entistä vähemmän. Kodista tulisi ikään kuin perheenjäsen, joka huolehtisi ja asuisi talossa muiden kanssa. Tietosuojan kannalta tietojen kerääminen on ongelmallista, mutta sen ei pitäisi estää niitä mahdollisuuksia, joita älykkäällä automaatiolla pystytään saavuttamaan.

LÄHTEET

- [1] S. Marttila, ”Home Automation – A Challenge for Electrical Designers, Contractors and Electricians ,” 2009. [Online]. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/3075/urn100017.pdf?sequence=1>. [Haettu 7 8 2015].
- [2] R. Harper, Inside the Smart Home, Springer, 2003, pp. 17-21.
- [3] D. Hendricks, ”The History of Smart Homes,” 2014. [Online]. Saatavissa: <http://www.iotevolutionworld.com/m2m/articles/376816-history-smart-homes.htm>. [Haettu 7 8 2015].
- [4] P. Heikkilä, ”Missä mennään rakennusautomaatioissa,” AIR-IX Talotekniikka Oy, 2003. [Online]. Saatavissa: http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Heikkila_Pekka_15.5.03.pdf. [Haettu 7 8 2015].
- [5] S. Engelholm, ”Mitä kiinteistöautomaatio onkaan -käsiteselvitys,” Nordomatic ab, 2005. [Online]. Saatavissa: http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/BAFF_2_Stefan_Engelholm.pdf. [Haettu 7 8 2015].
- [6] Transparency Market Research, ”Home Automation Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2014 - 2020,” 2015. [Online]. Saatavissa: <http://www.transparencymarketresearch.com/home-automation-market.html>. [Haettu 7 8 2015].
- [7] Loxone GmbH, ”Loxone,” [Online]. Saatavissa: www.loxone.com. [Haettu 7 8 2015].
- [8] Ouman, [Online]. Saatavissa: <http://ouman.fi/>. [Haettu 7 8 2015].
- [9] P. Harmo, ”Rakennusautomaatio luento 3,” 2013. [Online]. Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.1502/luennot/AS-0_1502_rakennusautomaatioluento_3_2013.pdf. [Haettu 7 8 2015].
- [10] Ruukki, ”Rakenteiden toiminnallinen palomitoitus,” 2008. [Online]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/D2AD18E484044C489B2635801986BDAC.ashx>.

- [Haettu 7 8 2015].
- [11] K. Kokko, ”Kotiautomaatiojärjestelmien nykytila ja tulevaisuuden haasteet,” 2013. [Online]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/64103/Kokko_Kari.pdf?sequence=1 . [Haettu 7 8 2015].
- [12] J. Stigzelius, ”Kotiautomaatio osa kehittyvää Älykästä kaupunkiyhteiskuntaa,” [Online]. Saatavissa: <http://www.rakennamme.fi/alykas-koti/kotiautomaatio-osa-kehittyvaa-lykasta-kaupunkiyhteiskuntaa>. [Haettu 7 8 2015].
- [13] J. Leikkala, Luento 2 Anturien perusteet, 2012.
- [14] H. Aalto, ”Johdatus säätötekniikkaan,” [Online]. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Johdatus_saatotekniikkaan.doc. [Haettu 7 8 2015].
- [15] K. Ehle, ”Why Sensors Make Sense for home automation,” Loxone GmbH, 2014. [Online]. Saatavissa: <http://blog.loxone.com/enus/why-sensors-make-sense/>. [Haettu 7 8 2015].
- [16] Automated Home, ”Apple iBeacons Explained – Smart Home Occupancy Sensing Solved?,” 2013. [Online]. Saatavissa: <http://www.automatedhome.co.uk/apple/apple-ibeacons-explained-smart-home-occupancy-sensing-solved.html>. [Haettu 7 8 2015].
- [17] Aeotec, ”MultiSensor 6,” [Online]. Saatavissa: <http://aeotec.com/z-wave-sensor>. [Haettu 7 8 2015].
- [18] G. Duncan, ”You can’t avoid the ‘Internet of things’ hype, so you might as well understand it,” Digital Trends, 2014. [Online]. Saatavissa: <http://www.digitaltrends.com/home/heck-internet-things-dont-yet/>. [Haettu 7 8 2015].
- [19] H. Koivisto, ”Teollisuusautomaation kehitystrendejä,” 2006. [Online]. Saatavissa: <http://koti.mbnet.fi/asaf/1Koivisto.pdf>. [Haettu 7 8 2015].
- [20] L. Sutinen, ”Rakennusautomaation integraatio,” 2004. [Online]. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Integraatio_LS.pdf. [Haettu 7 8 2015].
- [21] D. Thompson, ”Apple Cracks Down on iBeacon for Android,” 2014. [Online].

- Saatavissa: <http://beekn.net/2014/07/ibeacon-for-android/>. [Haettu 7 8 2015].
- [22] Techopedia, "Internet of Things," [Online]. Saatavissa: <http://www.techopedia.com/definition/28247/internet-of-things-iot>. [Haettu 7 8 2015].
- [23] R. McMillan, "Bots Now Outnumber Humans on the Web," Wired, 2014. [Online]. Saatavissa: <http://www.wired.com/2014/12/bots-now-outnumber-humans-web/>. [Haettu 7 8 2015].
- [24] Radio-Electronics.com, "IEEE 802.11 Wi-Fi Standards," [Online]. Saatavissa: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php>. [Haettu 7 8 2015].
- [25] Sparkfun, "Bluetooth Basics," [Online]. Saatavissa: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics>. [Haettu 7 8 2015].
- [26] Bluetooth SIG, "The Low Energy Technology Behind Bluetooth Smart," [Online]. Saatavissa: <http://www.bluetooth.com/Pages/low-energy-tech-info.aspx>. [Haettu 7 8 2015].
- [27] K. Butler, "What is Bluetooth 4.0?," 2012. [Online]. Saatavissa: <http://blog.laptopmag.com/just-what-is-bluetooth-4-0-anyway>. [Haettu 7 8 2015].
- [28] K. Townsend, "Introduction to Bluetooth Low Energy," 2015. [Online]. Saatavissa: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy>. [Haettu 7 8 2015].
- [29] Bluegiga, Bluetooth Smart BGScript Developer Guide, Bluegiga, 2015.